

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

B05-环境分离净化材料与技术
B05-Environmental Separation and
Purification Materials and Technology

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



B05. 环境分离净化材料与技术

分会主席：邱介山、马杰、张增志、周宏建、于飞

B05-01**纳米材料强化水净化分离膜材料的制备与改性**张建峰^{*1}

1. 河海大学

摘要：高效、低成本水分离膜的开发对缓解水资源短缺与水污染问题具有重要意义。针对传统膜存在分离效率低、抗污染性能差和使用寿命不足等问题，本研究围绕纳米材料强化水分离膜的制备与改性，系统开展实验研究与理论分析，重点探讨界面反应调控、孔结构构筑及荷电性调节等关键科学问题。提出了基于二维纳米材料的有机无机改性及分散性控制方法，开发了基于聚酰胺层调控的高性能反渗透膜制备技术。研究了基于 MXene 二维纳米片的多种造孔方式，揭示了层间通道与面内孔道对水传输机制的影响。发明了基于仿生结构设计和纳米流体通道网络的大通量/高选择性复合膜，揭示了膜表面性质、孔道结构与流体流动等多因素协同增强水渗透与染料/盐选择性分离的耦合作用机制。提出了二维纳米片表面电荷调控及水分散性提升机制，阐明了纳米材料添加与膜荷电性协同增强分离性能的机制。最后，探讨了新型纳米材料强化水分离膜材料的实际应用及未来发展方向，为膜材料在水处理、环境保护与资源回收等领域的广泛应用提供理论支撑与技术路径。

B05-02**新型 CDI 电极材料的设计与水中氟离子的高效去除**李一鸣^{*1}，鲁振宗¹，李沂恒¹

1. 中国海洋大学

摘要：过量氟离子的摄入会导致氟中毒，严重危害人体健康。传统的水体脱氟技术存在吸附容量低、能耗大、循环性差等问题。电容去离子技术（Capacitive deionization, CDI）由于操作简单、低能耗等优势日益受到关注，是一种可以有效和快速去除离子的前沿技术。本研究针对 MOFs 导电性差的问题，将 MOFs 与导电聚合物复合并热解为金属氧化物@多孔碳复合材料，提高了 MOFs 基 CDI 电极的导电性和氟离子去除能力。将 MOFs 基电极与 MnO₂ 电极进一步组合成无膜 HCDI 装置，改善了由于同离子效应导致的 CDI 性能的下降，该 HCDI 体系具有优异的氟离子去除能力、选择性和再生性能。为实现氟离子的连续去除，本研究针对 MXene 抗氧化能力差、选择性低的问题，将 MXene 与导电聚合物/碳材料复合或通过多孔氮掺杂和抗氧化修饰的方式，提高了其作为流动电极的氟选择性和化学稳定性，验证了 MXene 材料在流动电容去离子（FCDI）除氟领域的优异性能；将 MXene 基电极与 MnO₂@AC 电极组合为一种非对称 FCDI 装置，改善了因同离子效应和浓差极化导致的性能下降，低外加电压下 FCDI 系统在真实含氟地下水和废水中均表现出较高的氟去除能力和选择性，具有较好的实际应用前景。相关研究结果将为氟污染控制领域提供新的技术方法和理论借鉴。

B05-03**结构导向的有机聚合物设计及其电容去离子性能研究**施敏杰^{*1}

1. 江苏科技大学

摘要：电容去离子是一种装置构造简单、能耗低以及零二次污染的新型水处理技术，在海水淡化、苦咸水脱盐和废水净化等领域引起了广泛关注。有机材料具有分子结构易于设计、活性位点可调节、资源的

可持续性等特质，已成为电容去离子体系中极具发展潜力的电极材料。本研究聚焦于有机聚合物材料的分子设计与结构改性展开，通过借助拓扑学原理及结构单元构建技术，利用基团引入、交联聚合以及扩展共轭等方法，精细调控有机分子结构、空间构型以及活性官能团等参数，制备了多种稳定骨架且丰富活性位点的有机电极材料。结合动态原位表征与深度理论建模的手段，多角度和全方位深入剖析有机电极材料氧化还原反应过程，明确有机电极材料的分子结构与电化学性能的构效关系，进而构建具有优异脱盐动力学性能的混合电容去离子装置。

B05-04

基于流动电极电容去离子的海水/高盐有机废水资源化处理机制研究

唐可欣^{*1}, 赵丹¹, 冯业琨¹, 林京都¹, 蔡崇铨¹, 王宏洋²

1. 中山大学

2. 中国环境科学研究院

摘要: 全球水资源短缺与含盐有机废水排放压力日益加剧，亟需高效、低能耗的盐分和有机污染物去除新技术。流动电极膜电容去离子（FCDI），因其可持续性和高效性，成为海水淡化及高盐有机废水处理的有效解决方案。当前，FCDI 面临的核心挑战包括高盐/有机负荷下的能效瓶颈、选择性分离能力有限、膜污染和运行稳定性不足等。针对上述问题，我们系统开展了如下研究：首先，通过调控电极材料（如添加高导电材料或使用电池类材料）、优化电极结构和流道设计（如折形流道与全通道流道）及探索稳定高效操作条件，显著提升了 FCDI 的系统电导率和除盐速率，同时显著降低能耗，并实现了在超越极限电流条件下的稳定连续脱盐操作。其次，通过在离子交换膜表面引入功能性电吸附层（如碳布、石墨毡），实现了高盐有机废水中盐分和染料等有机物的同步分离和回收，有效抑制了膜污染并提升了系统运行稳定性。此外，我们结合分子模拟和实验，开发了选择性增强的膜材料（如 ZIF-8 改性膜），为锂等高值金属的高选择性分离和回收提供了理论与实践依据。上述研究不仅突破了 FCDI 技术在高盐/高有机负载条件下的性能瓶颈，实现了高效、协同、可持续的水资源化和污染物资源化处理，FCDI 有望在海水淡化、高盐有机废水处理及资源回收等领域实现规模化推广和高值应用。

B05-05

面向电容去离子技术的高稳定性活性炭材料构建及其农业灌溉应用研究

Bei Li^{*1}

1. Institute of Chemical Industry of Forest Products (ICIFP), Chinese Academy of Forestry

Abstract: Activated carbon (AC) electrodes are irreplaceable in many electrochemical cells due to their unique combination of specific surface area and relative abundance. However, in many devices the aqueous conditions at the surface of carbon will lead to irreversible parasitic faradaic reactions, resulting in the formation of oxygenated functional groups and a reduction in electrode service life. In this study, we employ capacitive deionization (CDI) as an ideal system to investigate the cycling stability of different AC electrodes with modified surface chemistry, so as to reveal the coupled reaction-degradation phenomena that are often limiting deployment of aqueous electrocapacitive devices. It is found that the incorporation of AC cathodes with rich oxygen-containing surface groups significantly alleviates an inversion effect during long-term operation of a CDI system. At the same time, the salt adsorption capacity (SAC), the charge efficiency and the SAC retention rate of cells with modified commercially available AC improve significantly as compared to those with unmodified commercially available AC. To pinpoint the responsible faradaic processes, multiple parameters of the effluent are monitored to quantify the generation rate of OH⁻ species, which leads to a beneficial acidic-electrolyte environment. Consequently, the carbon-oxidation reactions are suppressed due to the increased redox potential in an acid environment and the potential of the zero charge (PZC) of the aged anode remains nearly unchanged after long-term cycling. Importantly, the carbon treatment methods demonstrated herein are industrially scalable, and

combined with the unraveled mechanism, suggest many opportunities to stimulate the design of the specialized AC materials with extreme stability for enabling a new generation of aqueous electrocapacitive technologies.

B05-06

微生物酶催化合成含低浓度反位缺陷的 $\text{LiFePO}_4@\text{C}$ 及其高效提锂性能研究

袁建华², 马杰^{*1}, 曹江林¹

1. 同济大学
2. 南华大学

摘要: LiFePO_4 (LFP) 被认为是一种很有前途的捕获锂离子 (Li) 的电极材料。然而, LFP 晶体中存在的反位缺陷阻碍了沿 b 轴的一维 (1D) 扩散通道, 从而减慢了 Li 的扩散并降低了循环稳定性。在此, 我们提出了一种“微生物酶催化”绿色合成策略, 成功制备了含有低浓度反位点缺陷 ($< 3\%$) 为特征的多形貌 $\text{LFP}@\text{C}$, 从而增强离子传输和稳定的循环性能。低浓度反位缺陷 LFP 提供了平滑的离子扩散通道, 增强了 Li 扩散和电子传输, 从而有效改善动力学。此外, 源自多磷细菌的碳壳提高了导电性, 并为缓解 LFP 的体积膨胀提供了空间, 最终增强了循环稳定性。因此, $\text{LFP}@\text{C}-7$ 表现出优异的 Li 捕获能力 (3.05 mmol g^{-1}) 和速率 ($1.01 \text{ mmol g}^{-1} \text{ min}^{-1}$), 具有 212 的高分离因子 (Mg/Li 比值为 60) 和出色的循环稳定性 (100 次循环中容量保持率超过 83.3%)。电化学石英晶体微天平 (EQCM-D) 分析证实了 $\text{LFP}@\text{C}-7$ 捕获 Li 过程中发生了水合、离子交换和解吸三阶段反应。此外, 原位 X 射线衍射 (XRD) 展示了 $\text{LFP}@\text{C}$ 在整个 Li 插入和提取过程中发生了可逆相变 ($\text{FePO}_4 \rightarrow \text{LiFePO}_4 \rightarrow \text{FePO}_4$)。本研究为低浓度反位缺陷 LFP 的绿色合成提供了一种新的可行解决方案。

B05-07

Metal-organic Framework-based Materials for Efficient Capacitive Deionization

郭璐^{*1}

1. 云南大学

Abstract: Metal-organic frameworks (MOFs) demonstrate significant potential in capacitive deionization (CDI) applications, enhancing desalination performance through innovative electrode designs. Herein, two-dimensional nanostructured porous graphene derived from a metal-organic framework (MOF), doped with Co and N atoms, was used as the cathode alongside N-doped graphene as the anode in a membrane capacitive deionization (CDI) system, achieving high desalination performance with low energy consumption. Under optimal conditions, a high desalination performance of 69.23 mg g^{-1} and a desalination rate of $2.307 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ have been achieved with an energy consumption of 0.36 Wh g^{-1} . MOF materials can also be used directly as electrode materials in CDI system. By utilizing hollow nanocubes derived from cobalt-based MOFs and silver nanoparticle-coated reduced graphene oxide in a battery desalination (BD) system, a superior volumetric salt adsorption capacity (SAC) of 102.3 mg cm^{-3} and gravimetric SAC of 143.2 mg g^{-1} with a current density of 100 mA g^{-1} have been achieved. These advancements highlight MOFs' ability to improve electrochemical stability, salt removal efficiency, and scalability in desalination technologies.

B05-08

电容去离子技术进展及展望

马杰^{*1}

1. 同济大学/喀什大学

摘要: 电容去离子技术是一种基于双电层效应的高效电化学水处理技术, 通过电极表面吸附离子实现低能耗、环保型脱盐, 尤其适用于重金属离子去除及高盐废水处理, 具有操作简单、维护成本低等显著优势。该论文聚焦于电极材料创新与系统优化, 成功开发出多种复合电极材料, 兼具高导电性、耐腐蚀性和

机械稳定性，并通过结构设计提升离子吸附容量与循环寿命；同时，其团队在 CDI 装置集成化、智能化控制及复杂水质适应性方面取得突破，推动了该技术在工业废水治理和资源回收中的应用。展望未来，CDI 技术将朝着高性能电极材料（如石墨基复合材料、金属有机框架材料等）开发、多技术耦合（如膜分离、光催化协同）及智能化运行方向发展，以进一步降低能耗、提升处理效率并拓展应用场景（如海水淡化、电子行业超纯水制备），为全球水资源可持续管理提供重要支撑。

B05-09

2D 纳米复合膜的制备及其污水治理应用基础研究

陈成^{*1}

1. 安徽农业大学

摘要：膜分离技术作为一种能耗低、操作简便且无污染的新型水治理技术^[1]，因其显著降低水处理成本（约 40%至 70%），正日益成为水污染治理领域中极具竞争力且经济可行的解决方案^[2,3]。传统水处理技术往往存在能耗高、二次污染严重或效率不足的问题，而膜分离技术凭借其独特的分离机制，在去除微量污染物、有机物及重金属等方面表现出优异性能。近年来，基于二维纳米片组装技术制备的纳米膜材料，由于其优异的理化稳定性、调控灵活的层间结构及高通量性能，成为克服膜分离过程中选择性与通量难以兼顾的关键突破口^[4]。因此，从材料科学角度出发，开发具备高选择性和高通量的二维纳米材料及其组装膜，是提升膜分离技术在水治理领域应用的核心任务，也是亟待解决的科学与技术难题^[5]。

为系统评估二维纳米材料在污水治理中的应用潜力，汇报人将重点研究二维纳米片复合膜和纳米限域膜在水相和有机体系中对不同模拟污染物分子的去除效率。同时，通过结合理论计算与实验手段，深入探讨材料结构与膜分离性能之间的关系，揭示性能提升的内在机制。该研究不仅为新型纳米膜分离技术提供重要的材料基础，也将推动膜技术在水资源可持续利用和环境保护中的广泛应用，助力我国实现“双碳”目标。

参考文献：

[1] Sholl, D. S.; Lively, R. P., Seven chemical separations to change the world. *Nature* 2016, 532 (7600), 435-437.

[2] Lin, J.; Ye, W.; Xie, M.; Seo, D. H.; Luo, J.; Wan, Y.; Van der Bruggen, B., Environmental impacts and remediation of dye-containing wastewater. *Nature Reviews Earth & Environment* 2023, 4 (11), 785-803.

[3] 徐南平; 赵静; 刘公平, “双碳”目标下膜技术发展的思考. *化工进展* 2022, 41 (3), 1091-1096.

[4] Cheng, L.; Liu, G.; Zhao, J.; Jin, W., Two-dimensional-material membranes: manipulating the transport pathway for molecular separation. *Accounts of Materials Research* 2021, 2 (2), 114-128.

[5] Wang, S.; Yang, L.; He, G.; Shi, B.; Li, Y.; Wu, H.; Zhang, R.; Nunes, S.; Jiang, Z., Two-dimensional nanochannel membranes for molecular and ionic separations. *Chemical Society Reviews* 2020, 49 (4), 1071-1089.

B05-10

等离子体诱导技术制备脲胺脲复合材料应用于海水提铀

陈长伦^{*1}

1. 中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所

摘要：低温等离子体表面改性方法有如下一些优势：1）能在复杂的基体表面引入需要的功能基团，减少使用大量引发剂和交联剂等化学试剂，环境友好；2）只作用于基体表面和近表面，仅改变基体的表面化学成分，对基体内部结构无影响，可保持基体固有的性质如机械强度；3）具有许多活性粒子，如离子、电子、激发的分子、原子，特别是自由基能作用于材料表面，发生表面反应；4）可根据需要采用不同的活性或惰性气体介质参与基体表面的化学反应，甚至可以采用各种气体的组合，提供丰富的活性物质，提高反应活性，此外利用氮气或氧气作为气体介质可以在基体表面引入极性功能基团，提高基体的极性；5）反应的温度和能量较低，避免基体表面损伤。

开展了等离子体诱导接枝制备偕胺肟基复合材料的研究，等离子体改性过程中被修饰的基底暴露于部分电离的气体气氛中，通过插入或取代先前的官能团或产生用于表面接枝或随后交联的自由基，在基质上产生新的化学官能团，对基体内部结构无影响，保持基体固有的性质避免了常规方法环境污染与放射性。等离子体技术制备的偕胺肟化纤维素材料显著提升铀酰离子的吸附选择性和吸附容量。此创新方法为制备改性海水提铀吸附剂材料提供了新的思路。

B05-11

原子精确金属纳米团簇的可控设计助力电容淡化杀菌一体化体系构筑

刘勇^{*1}

1. 青岛科技大学

摘要：本研究针对全球淡水资源短缺和水质安全这一重大挑战，深入探讨了基于金属纳米团簇结构调控的新型电容去离子水处理技术。该技术展现出多方面的优势特征：其工作电压维持在相对较低的水平，能耗显著优于传统处理方法；整个处理过程无需添加化学药剂，避免了副产物生成问题；系统采用模块化设计，操作维护简便易行；电极材料可通过电化学方法实现再生，具有较长的使用寿命。这些特性使该技术特别适合分布式供水等应用场景。

通过系统研究金属纳米团簇的三元耦合体系，本工作取得以下发现：在结构-功能关系方面，金属纳米团簇表现出的量子限域效应使其离子储存性能获得显著提升。同时，通过精确调控表面配体化学，实现了对活性氧物种生成路径的选择性控制，这为精准调控消毒过程提供了新思路。在过程机理层面，研究发现离子电吸附过程形成的界面环境能够有效促进活性氧物种的生成，同时活性氧物种的产生又会反馈调节离子吸附过程。这些现象揭示了杀菌与淡化过程之间存在的协同作用机制。

B05-12

钴基功能电极材料的复合设计及电容去离子性能研究

徐应生^{*1}

1. 湖北师范大学化学化工学院，污染物分析与资源化技术湖北省重点实验室

摘要：基于过渡金属基电极的可逆价态转变效应，在实现高性能法拉第电容去离子方面具有重要意义。钴（Co）基法拉第电极因其低成本、环境友好以及多重可逆氧化态等优势，展现出良好的应用前景。探索高效钴基功能电极材料的复合设计策略，以增强其电容去离子性能，亦成为当前研究的重点。本研究围绕高盐淡化、重金属净化与放射性核素分离等应用需求，采用多重手段——包括多位点耦合、元素掺杂与形貌调控等，构建了一系列钴基功能复合电极材料，系统阐述了其与目标污染物之间的相互作用机制。主要内容包括：（i）通过构建 Co/Mn 双金属活性位点，实现高效电容脱盐，并深入探讨双金属氧化还原中心在性能提升中的协同机制；（ii）依托 Co 的可逆价态转变、S 元素引入的软 Lewis 碱性位点及三维碳骨架结构的协同调控，实现对铀酰离子的高选择性吸附与分离。本工作为基于过渡金属基电容去离子技术提供了新的思路与理论支撑。

B05-13

COF 气凝胶构建及其贵金属回收应用研究

黄理金^{*1}

1. 中国地质大学（武汉）

摘要：贵金属如金、银、铂、钯等，自然资源有限且开采难度大，导致其市场价值较高。从二次资源中回收贵金属不仅能够减少对矿产资源的依赖，而且有助于减少环境负担，促进可持续发展。近年来，由有机小分子通过可逆共价键（诸如 C=N、C-C、B-O、C-O 等）连接而成的共价有机框架（Covalent organic frameworks, COFs）材料凭借其超大的比表面积、可调节的孔径、卓越的化学稳定性等特性，已在贵金属回收领域展现出良好的应用前景^[1]。然而，在实际应用过程中，该材料仍面临粉末状回收难、成本高以及贵金属回收效率较低的问题。有鉴于此，本课题组基于绿色制备技术，利用 COFs 化学结构易于设计的特

点, 研制了一系列高选择性的 COF 材料, 并将其与廉价易得的壳聚糖 (Chitosan, CS) 复合, 制备了多种低成本、易于分离回收、选择性强的 COF 气凝胶材料, 成功应用于采矿废水、电子垃圾浸出液等酸性水体中贵金属的高效选择性回收, 为关键金属的高选择性与高效回收提供了新思路^[2-3]。

参考文献:

[1] Guo, W.; Liu, J.; Tao, H.; Meng, J.; Yang, J.; Shuai, Q.; Asakura, Y.; Huang, L.; Yamauchi, Y. Covalent organic framework nanoarchitectonics: recent advances for precious metal recovery. *Adv. Mater.* 2024, 36 (33), e2405399.

[2] Liu, Y.; Guo, W.; Liu, J.; Tao, H.; Yang, J.; Shuai, Q.; Yamauchi, Y.; Yuliarto, B.; Asakura, Y.; Huang, L. Bipyridine covalent organic framework aerogel for highly selective recovery of palladium in wastewater. *Chem. Sci.* 2025, 16 (13), 5745-5754.

[3] Wu, Y.; Meng, J.; Lei, X.; Yang, J.; Shuai, Q.; Huang, L. Scalable and facile fabrication of magnetic triazine polyimide for high-efficiency gold recovery from e-waste. *Mater. Today Chem.* 2025, 46, 102713

B05-14

量子碳点复合 g-C₃N₄ 光催化降解罗丹明的研究

张锐明^{*1}, 许欣欣¹

1. 龙岩学院

摘要: g-C₃N₄ 在高效光催化的应用中, 面临着光吸收不足以及光生载流子复合等难题, 严重制约了其性能。本文借助超声辅助法制备了以三聚氰胺作为前驱体的碳点 CDs/g-C₃N₄ 复合催化剂, 并考察其对罗丹明 B (RhB) 光催化降解效果。结果显示, CDs 引入后, 有效调控了能带结构, 拓宽了光吸收范围; 提高了光生电子与空穴的高效分离及迁移。在可见光照射环境下, CDs/g-C₃N₄ 复合催化剂相比单纯 g-C₃N₄ 光催化活性大幅提升, CDs/g-C₃N₄ 复合催化剂对初始浓度为 10 mg/L RhB 的最佳降解条件为: 催化剂浓度为 0.5 g/L、pH 值为 4, 在 40 分钟降解效率达到了 96.80 %。CDs/g-C₃N₄ 复合催化剂稳定性好, 经 5 次循环利用后, 降解率依然高达 95.97 %。这些优异性能为 CDs/g-C₃N₄ 复合催化剂在可见光光催化低成本应用场景提供了科学基础。

B05-15

多孔碳基电极材料用于电容去离子阳极材料

李春岩^{*1}

1. 江苏科技大学

摘要: 开发电容去离子 (CDI) 技术有望缓解全球淡水供应短缺的困境。然而, CDI 有限的脱盐能力制约了其商业化进程, 因此, 研发高性能电极材料已成为推动 CDI 发展的关键趋势。本文创新性地设计和合成了一种核壳结构的多活性材料负载碳/聚吡咯 (PPy) 复合材料, 应用于混合 CDI (HCDI)。Ni-Co@C-600/PPy 电极展现出 179.28 F g⁻¹ 的比电容和 0.785 Ω 的电导率。其中, PPy 通过原位涂覆技术附着在核桃十二面体碳 (Ni-Co@C-600) 表面, 有效提升了 Ni-Co@C-600 的电子和离子动力学性能。核桃十二面体两侧的皱纹结构不仅增大了电解质的可接触面积, 还缩短了 Cl⁻ 的迁移路径。当以 Ni-Co@C-600/PPy 为阳极、活性炭 (AC) 为阴极时, Ni-Co@C-600/PPy//AC 电池在 NaCl 溶液中的 Cl⁻ 去除率高达 60.17 mg g⁻¹, 去除速率为 8.42 mg g⁻¹ min⁻¹。原位拉曼光谱和密度泛函理论 (DFT) 分析揭示了 Cl⁻ 捕获机制, 为 Cl⁻ 的快速迁移和高效储存提供了理论支撑。

B05-16

赅电容型电极材料的研制及其在电容去离子技术上的应用

王东^{*1}

1. 山东理工大学

摘要：法拉第型电极材料能够显著提升电容去离子技术的脱盐容量。与钠离子捕获阴极相比，用于氯离子捕获的阳极材料发展较为缓慢。基于以上问题，本文以石油焦衍生碳和层状双金属氢氧化物（LDH）为电容去离子阳极材料，通过结构和成分调控制备了赅电容型的电极材料，同时阐明了材料在电容去离子过程中增强的氯离子捕获机理，主要内容归纳如下：

（1）通过调节 KOH 与石油焦配比得到一系列石油焦多孔碳（apC），然后将尿素与 apC 混合，热解制备了氮掺杂多孔碳（N-apC）。相较于依靠物理吸附的多孔碳，N-a4pC 展示出了增强的赅电容特性以及阴离子选择性捕获能力。将 N-a4pC 作为阳极，活性炭（AC）作为阴极组成电容去离子装置，该装置在 1.2 V 吸附电压，500 mg L⁻¹ 的 NaCl 溶液达到 38.1 mg g⁻¹ 的脱盐量，展现出了优异的氯离子捕获能力。此外，将电容去离子装置吸附过程视为脱盐电池的储能，成功将发光二极管灯泡点亮。

（2）通过离子交换法制备了 7 种插入有机阴离子的 LDH，主要分为直链二羧酸阴离子和表面活性剂阴离子。有机阴离子插层 LDH 的层间间距显著扩大（从初始的 0.91 nm 增加到最大的 3.56 nm），提供了丰富的离子扩散通道，并激活了更多的电活性位点。其中，以十二烷基硫酸钠（Sodium lauryl sulfate, SDS）插入的 LDH(LDH-SDS)电极最高表现出 58.6 mg g⁻¹ 的高脱盐量，100 个脱盐循环后的容量保留率为 80.5%。密度泛函理论计算表明，有机阴离子构型具有更强的捕获氯离子的能力，并在有机阴离子和宿主层之间表现出较强的电子相互作用。

参考文献：

- [1] Huazeng Yang, Dong Wang*, et al. Chemical Engineering Journal, 2024, 501, 157769;
- [2] Zhiyuan Liu, Dong Wang*, et al. Angewandte Chemie International Edition, 2024, 63(42), e202409204. DOI: 10.1002/anie.202409204
- [3] Chunjie Zhang, Dong Wang*, et al. Chemical Engineering Journal, 2023, 471, 144526
- [4] Yao Qiu, Dong Wang*, et al. Green Energy & Environment, 2023, 8(5), 1488-1500

B05-17

普鲁士蓝类似物的 p 带和 d 带中心调控及其电容去离子应用

潘丽坤^{*2}、李家宝¹

1. 扬州大学

2. 华东师范大学

摘要：Fe-C≡N-M 构型作为普鲁士蓝类似物（PBAs）的结构基础，对其电化学性能具有决定性作用，然而配位金属（M）与性能之间的构效关系仍缺乏系统阐释。本研究通过设计合成五种不同配位金属（M = Fe、Co、Ni、Cu、Mn）的普鲁士蓝类似物，系统探究了配位金属对其电容去离子性能的作用机制，并建立了基于氰基桥键（-C≡N-）p 带中心与金属阳离子 d 带中心的双重性能描述符^[1]。结合密度泛函理论计算与实验验证发现：Fe-C≡N-M 骨架中氰基（-C≡N-）桥键的 p 带中心需维持适度能级位置，方可优化钠离子的吸附-扩散动力学平衡；而金属阳离子的 d 带中心与电极循环稳定性呈现显著线性关联^[2-3]。在五类 PBAs 中，钴基普鲁士蓝展现出最优异的综合性能，包括高比电容（298.4 F g⁻¹ @ 0.5 A g⁻¹）、卓越脱盐容量（49.5 mg g⁻¹，测试条件：1000 mg L⁻¹ NaCl 溶液、1.2 V 电压）以及稳定的循环特性（50 次循环后容量几乎无衰减）。基于此，我们进一步创新性地引入钒（V）掺杂策略，利用其 π 电子特性协同调控氰基桥键的 p 带中心能级与金属活性位点的 d 带中心位置，显著提升了氧化还原反应的可逆性及动力学速率，最终实现材料

脱盐性能的提升。

[1] Jiabao Li, et al., Nat. Commun. 2025, 16, 1996.

[2] Jiabao Li, et al., Chem. Sci. 2024, 15, 11814.

[3] Jiabao Li, et al., Desalination, 2024, 591, 118035.

B05-18

CDI 电极的氧空位调控策略及水体磷酸盐高效回收

刘建允^{*1}, 陈露¹, 李月¹, 吴俊升¹

1. 东华大学

摘要: 磷(P)作为生态系统不可或缺的营养元素,因工业、农业及采矿活动过量排放引发水体富营养化(藻华、缺氧等),已成为关键环境污染物。高效磷酸盐捕获与资源回收对恢复水生生态系统及保障磷资源可持续利用至关重要^[1]。水中磷酸盐以动态质子化形态存在(pH <7 时为 H_2PO_4^- , pH 7–12 时为 HPO_4^{2-} , pH >12 时为 PO_4^{3-}),在处理过程中,要求宽 pH 适应性、高选择性和快速传质等多重技术挑战。电容去离子(CDI)技术凭借电场驱动离子迁移的特性,具有低能耗、易操作、再生简便和可规模化等优势,为磷酸盐去除提供了绿色高效平台。然而,复杂水体基质中实现磷酸盐选择性吸附仍是瓶颈。本研究基于路易斯酸碱相互作用和氧空位工程,创新性地设计铈(Ce)基金属氧化物/碳基质杂化 CDI 电极(如 $\text{CeO}_2/\text{C-R}@\text{CNT}$ 复合材料,La 掺杂 CeO_2/rGO 杂化材料)以及 La-改性 Bi_2O_3 材料等,实现 CDI 系统高容量高选择性磷酸盐吸收^[2,3]。系统表征(SEM、XPS、EPR)证实了可控氧空位浓度,电化学与吸附分析显示卓越磷吸收性能。机理研究表明,磷酸盐通过静电吸引及后续配体交换吸附,氧空位作为活性位点形成稳定的 Ce-O-P 内层络合物。通过氧空位设计,所得电极兼具高选择性、强循环稳定性(10 次循环>80% 保持率)和宽 pH 适应性(pH 2–10),有效实现了磷酸盐吸收,大大缓解竞争阴离子的干扰效应,从而改善回收过程。稀土氧化物与导电碳网络的集成不仅加速电荷转移,还保障了吸附-脱附循环中的结构完整性。本研究为 CDI 系统建立了新范式,凸显氧空位调控对可持续磷回收管理的推动作用,助力全球水-能源-资源可持续发展。

B05-19

三维骨架结构增强大气集水性能

汪洋^{*1}

1. 天津大学

摘要: 围绕大气集水(AWH)技术,通过三维骨架结构增强大气集水性能。首先,制备了一种以碳纤维毡为三维骨架,负载聚乙烯醇固定 LiCl 和石墨的 AWH 材料。室温下进行 24 小时捕水-3 小时放水测试,显示出优异的集水能力,在 30%相对湿度下可收集 0.907 g g^{-1} 水,在 20%相对湿度下可收集 2.429 g g^{-1} 水。通过 2 小时捕获-2 小时释放循环测试,样品表现出稳定的水捕获释放性能。

在此基础上,以木材为三维骨架,负载海藻酸钠固定的 LiCl 和碳纳米管,制备了一种高效且机械强度高 AWH 材料。在非干旱环境(80% RH)和干旱环境(30% RH)中分别从大气中吸附 $3.36 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.801 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 的水,并在阳光下 3 小时内快速释放 99% 的吸附水。吸水性能在吸附水释放过程的 10 次循环中保持稳定,每次循环的吸水能力高达 0.69 g g^{-1} 。复合材料具有 1.14 MPa 的高抗压强度,并且在 10 次压缩循环中基本保持稳定。

以三维骨架复合材料为核心,开发了一种简单的集水装置,可用于各种户外天气条件下的集水,每个过程收集约 0.6 g g^{-1} 的液态水,并且收集的水质符合世界卫生组织(WHO)的生活用水标准。复合材料为高效和稳健的大气水收集提供了一种可持续的解决方案,有望解决日益严重的全球水资源短缺危机。

B05-20

构建层间距可调的钛碳氧化物促进电容去离子高效脱除重金属

伊秋颖¹, 张登松^{*1}

1. 上海大学

摘要: 针对电容去离子中存在的离子吸附能力有限和稳定性较差的问题, 本工作通过合理的材料设计, 获得具备优异重金属离子去除能力的二维片层电极材料, 并结合原位表征技术探讨了电容去除离子机制。通过使用不同的有机铵根阳离子调控获得了具有不同层间距的二维碳氧化钛材料 (TCOs), 发现在 TCOs 中具有超大层间距的二维 Ti—O—Ti 骨架, 这为电荷转移和离子输运提供了充足的扩散途径。在硼化钛与不同四烷基氢氧化铵 (TAAH) 的反应中发现, 与四丙基氢氧化铵 (TPAH) 反应所获得的 TCOs-TPAH 层间距可达到超大的 1.47 nm。进一步结合分子动力学模拟研究了 TCOs 材料的生成机理, 发现四烷基氢氧化铵与硼化钛反应时硼化钛表面的 Ti 位点会有优先受到进攻, 从而使硼化钛进行分解, 分解的钛原子形成 $\text{Ti}(\text{OH})_4$, 然后在四烷基铵根离子的作用下进一步自组装形成二维平面 TCOs。另一方面, 使用 SEM、TEM、XRD、以及拉曼等表征深入研究材料的精细结构, 通过循环伏安、电化学阻抗、以及充放电测试对其电化学性能进行了进一步探索。最后, 将 TCOs-TPAH 电极材料应用在电容去离子体系, 在脱盐方面达到了 53.7 mg g^{-1} 的超高盐吸附量。此外, 该体系对重金属离子 (Fe^{3+} 、 Cr^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 和 Pb^{2+}) 混合溶液可以实现所有重金属离子 97% 以上的去除效果。该工作为二维电极材料的设计研发开辟了新的方向, 为电容去离子技术去除废水中重金属离子提供了新的方案。

B05-21

基于普鲁士蓝类似物集成膜电极的 RCDI 强化铵离子选择性吸附

王奇峰¹, 谢冬林², 梁大为^{*1}

1. 北京航空航天大学材料科学与工程学院, 北京 102206

摘要: 本研究针对电容去离子 (CDI) 技术在废水中铵离子 (NH_4^+) 选择性吸附的关键问题, 开发了基于普鲁士蓝类似物 (PBAs) 的无机集成膜电极 (iMEs) 摇椅式 CDI (RCDI) 系统, 通过离子筛分与电极氧化策略的协同作用, 构建了高效选择性去除 NH_4^+ 的创新路径。

本研究将具有单价阳离子选择性的 PBAs 涂覆于活性炭 (AC) 电极表面形成 iMEs, 替代传统阳离子交换膜以强化 RCDI 系统的离子筛分能力^[1]。凭借 PBAs 独特的电化学行为与分子结构特性, 在 RCDI 运行期间, iMEs 对 NH_4^+ 相较于 Ca^{2+} 、 Na^+ 的选择性系数 (S_{ij}) 分别高达 2.15 和 1.95, 远超裸 AC 电极的 0.3 和 1.07, 证实了其通过化学吸附与静电排斥协同作用, 精准实现了 NH_4^+ 的优先捕获。

为突破吸附容量与稳定性瓶颈, 研究引入电极氧化策略 (包括脱盐过程实时氧化与预氧化处理)。氧化过程通过调节电极表面电荷密度与电位分布, 例如提升零电荷电位, 增强了电极对阳离子的吸附驱动力^[2]。预氧化处理使 iMEs 的阳离子吸附容量提升至 87.3 mg/g , 吸附速率达 12 mg/g/min , 电荷效率达 88.6%, 且在 240 次循环中性能保持稳定。这一过程揭示了氧化改性可通过增加表面含氧官能团 (如羧基、羟基), 拓宽电势工作窗口, 强化对阳离子的静电吸附, 同时抑制竞争性离子的吸附。

基于 PBA/MXene 涂层的 IMEs 进一步提升了 RCDI 的离子传输性能, 涂层与氧化活性炭电极的协同配合, RCDI 系统展现出卓越的 NH_4^+ 吸附性能。研究表明, 该系统在模拟废水中对 NH_4^+ 的比吸附容量 (SAC) 达 60 mg/g , 电荷效率 80% 以上, 即便在高浓度 Ca^{2+} 、 Na^+ 环境下, 仍能凭借 PBAs 的分子筛分效应与氧化电极的强亲和性, 维持 NH_4^+ 的高效分离。

本研究通过 “功能涂层定向识别-氧化改性容量提升-涂层协同与传输优化” 的多层次设计, 构建了 NH_4^+ 选择性吸附的一体化解决方案, 既揭示了电化学界面电荷调控与离子特异性吸附的耦合机制, 也为含氮废水处理 (如工业氨氮废水、养殖废水) 提供了兼具选择性与耐久性的技术范式, 其材料设计思路可扩展至其他痕量离子的高效回收场景, 推动 CDI 技术向精准化、工程化方向发展。

参考文献:

[1] Wang, Q. et al. Prussian blue analogue based integrated membrane electrodes for desalination and selective removal of ammonium ions in a rocking-chair capacitive deionization. *Chemical Engineering Journal* 482, 148923 (2024).

[2] Wang, Q. et al. Ultrahigh Salt Adsorption Capacity of Carbonaceous Electrode in a Rocking-Chair Capacitive Deionization through Surface Charge Modulation. *Environ Sci Technol Lett* 11, 634–639 (2024).

B05-22

电化学吸附材料理性设计与离子富集强化机制

徐兴涛*¹

1. 浙江海洋大学

摘要：舟山是我国唯一的一个群岛型地级市，拥有良好的深水港，这为舟山发展石油化工提供了便利条件。然而，舟山的淡水资源极度缺乏，这不仅威胁当地水供给安全，也制约着舟山石化产业发展。海水淡化是解决舟山缺水问题的重要途径，但会带来浓海水排海问题。如何合理利用浓海水资源、解决浓海水排海问题，制约当地绿色石化产业发展。我们团队近年来深耕于浓海水综合利用应用基础研究，基于团队前期学术研究成果，团队与浙江石化集团、舟山水司等企业开展合作，积极推动浓海水资源化技术的落地研究。本报告将系统介绍团队在电化学吸附材料理性设计与浓海水高值金属资源分离机制方面的研究成果。

B05-23

选择性电容去离子技术及其应用

周宏建*¹

1. 中国科学院合肥物质科学研究院

摘要：电容去离子（Capacitive Deionization, CDI）技术，是一种新型膜分离电吸附技术。该技术是基于与超级电容器相同的原理，利用施加的电压驱动带电离子在电极周围富集形成双电层（EDL），从而达到离子吸附的目的。CDI 充放电是一个带电离子吸附和解吸的动态过程。当去除电势时，电容性吸附的盐离子可以从电极表面脱附并富集到指定溶液中，实现富集浓缩。CDI 技术具有能量利用率高、设备维护简单、污染小、易操作等优点，尤其是对目标离子的选择性吸附作用，在饮用水净化、海水淡化和高值资源提取等方面受到广泛关注。报告综述了国内外 CDI 体系中选择性离子吸附的研究现状，分别从（1）高性能电极材料；（2）选择性吸附机制；（3）器件结构设计；（4）CDI 集成装置与应用示范，四个方面展开详细介绍。

B05-24

Mo 掺杂 NiHCF 的高性能电容去离子阴极：打破容量-稳定性的权衡

汪仕勇、王刚*¹

1. 东莞理工学院

摘要：六氰基铁酸镍（NiHCF）因其优异的循环稳定性和其他优点而被认为是最有前途的电容去离子（CDI）电极材料之一。然而，单一反应位点导致的脱盐能力差、吸附能力低严重限制了其实际应用。在这里，提出了一种高价过渡金属元素 Mo 掺杂策略，以利用 Mo^{6+} 来激活 NiHCF 内的惰性位点。设计了具有多对氧化还原活性位点和长循环能力的 Mo 掺杂 NiHCF 电极（ $\text{NiMo}_x\text{-HCF}$ ），打破了高吸附容量和循环稳定性之间的权衡。结果表明，优选的 $\text{NiMo}_{0.3}\text{-HCF}$ 不仅保留了优异的循环稳定性（200 次循环后为 91%），而且在 1.2 V 时具有 90.92 mg g^{-1} 的高吸附容量，远优于相同条件下的 NiHCF。此外，它在模拟苦咸水和循环冷却水中也有很好的实际应用。结构表征和理论计算表明，Mo 掺杂策略在保持结构稳定性的同时增强了电子导电性。本研究提出了一种使用高价元素激活惰性位点的新方法，从而有效平衡电极的吸附能力和循环稳定性。

B05-25

电容去离子用离子聚合物的合成、膜电极结构调控与脱盐性能研究

江涛¹、徐应生¹、周宏建²、魏海兵*³

1. 湖北师范大学化学化工学院

2. 中国科学院合肥物质科学研究院

3. 合肥工业大学化学与化工学院

摘要：电容去离子（CDI）作为一种新型的脱盐技术，其具有设备简单、操作便捷、成本低廉及环境友好等特点。然而，传统碳基 CDI 技术目前仍面临脱盐容量有限、电荷效率不足以及缺乏离子选择性等挑战，这些问题限制了其进一步应用和发展。针对碳基 CDI 技术当前面临的问题，本文致力于通过对 CDI 用离子聚合物的分子结构设计和膜电极结构的调控，以提高 CDI 的吸附容量和电荷效率以及赋予其离子选择特性。具体研究工作如下：

（1）为了降低离子交换膜（IEM）与电极材料之间的界面离子传输阻力以及膜的内阻，制备了聚（亚芳基-亚烷基）阴离子聚合物和阳离子聚合物，并将其涂覆在碳电极表面，构建了原位涂覆膜电容去离子（C-MCDI）。通过核磁共振氢谱（ $^1\text{H NMR}$ ）和扫描电子显微镜（SEM）分析，证实了离聚物的制备并均匀的沉积在电极表面，离聚物与碳电极之间表现出很好的界面相容性。与传统无膜的 CDI（ 5.4 mg g^{-1} ）和使用商业化自支撑膜的 FS-MCDI（ 8.3 mg g^{-1} ）相比，原位涂覆的 C-MCDI 具有更高的盐吸附容量（SAC），达到 23.7 mg g^{-1} 。COMSOL 模拟发现，C-MCDI 的电流密度（ 4.31 mA cm^{-2} ）高于 FS-MCDI（ 2.18 mA cm^{-2} ），这表明 C-MCDI 中离子的迁移速度更快。与此同时，原位涂覆的离聚物消除了与电极之间的间隔，降低了界面接触电阻，优化了电压分布。经过 500 次循环稳定性测试，C-MCDI 的 SAC 保持在 18.6 mg g^{-1} ，而无膜 CDI 的 SAC 降至 0.9 mg g^{-1} 。

（2）为了进一步降低电极材料内的离子传输阻力，采用聚（亚芳基-亚烷基）阴离子聚合物和阳离子聚合物作为电极粘结剂和离子交换材料，避免使用聚偏氟乙烯（PVDF）和额外的 IEM，构建了基于双功能离聚物的一体化电容去离子（BICDI）。与传统的 AC-PVDF 电极相比，AC-离聚物（AC-FLN/SPFL）电极具有更高的亲水性和比表面积，从而有利于水合离子的传输以及暴露更多的吸附位点。电化学阻抗谱（EIS）可以看出，AC-FLN（ 4.0Ω ）和 AC-SPFL（ 4.0Ω ）电极的欧姆电阻均小于 AC-PVDF（ 5.0Ω ）电极，且 AC-FLN/SPFL 电极的电荷转移电阻（ R_{ct} ）也更小，这表明其内阻较低，充放电速率较快。相较于 MCDI（ 8.9 mg g^{-1} 和 76.8%），BICDI 的最大吸附容量和电荷效率分别达到 19.2 mg g^{-1} 和 96.6%。

（3）利用 BICDI 高吸附容量的特性，在一体化电极上耦合反电荷层，通过静电排斥、空间位阻和疏水相互作用机理以尝试通过 CDI 技术实现一/二价离子的选择性分离。与使用单价阳离子选择性交换膜的 MCDI-C（ $206.4 \mu\text{mol g}^{-1}$ ， $S=1.4$ ）相比，BICDI-C（ $321.6 \mu\text{mol g}^{-1}$ ， $S=6.6$ ）表现出更高的一价阳离子吸附容量和选择性。通过调控一体化电极离聚物和反电荷层离聚物的离子基元类型，该方法还可以应用于一/二价阴离子的选择性分离，如 BICDI-A（ $43.6 \mu\text{mol g}^{-1}$ ， $S=7.3$ ）相较于 MCDI-A（ $38.5 \mu\text{mol g}^{-1}$ ， $S=1.5$ ）表现出更高的 Cl^- 离子吸附容量和选择性。

（4）为了拓展 CDI 技术的应用范围并增强脱盐能力，设计并合成了一系列无醚键的磺化聚（亚芳基-co-亚三联苯基-亚烷基）聚合物（SPFT-x），并将其用作流动电极电容去离子（FCDI）装置的阳离子交换膜（CEM）。SPFT-x 膜表现出较低的溶胀率和适中的吸水率，同时具有较高的离子电导率。其中，SPFT-60 膜在 80°C 下其 Na^+ 电导率达到 51.8 mS cm^{-1} 。基于 SPFT-60 的 FCDI 膜电极组件实现了 $1.39 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 的平均盐去除率（ASRR），是基于商业化膜 FCDI 的 2.0 倍。与此同时，与商业膜相比，基于 SPFT-x 的 FCDI 表现出更高的电荷效率和更低的能耗。

B05-26

面向磷去除与资源化回收的微藻衍生材料与复合吸附膜构筑

葛梦妮^{*1}、张爱华¹、张建峰¹

1.河海大学

摘要：水产养殖尾水中富含磷元素，若不加处理，易引发水体富营养化，同时造成磷资源浪费。为实现磷的高效去除与资源化回收，本研究围绕“以废治污”与“磷循环利用”双重目标，开发了基于废弃微藻衍生材料以及碳纳米管@ZIF-8 复合吸附膜的功能材料体系。首先，利用废弃微藻制备具备多孔结构和磷亲和功能基团的高性能生物炭吸附剂，进一步构筑其改性水凝胶和膜材料，用于实际养殖尾水中磷的高效吸附与固定。所制水凝胶不仅可实现磷的富集，还可作为微藻培养的磷源；而膜材料具备良好机械稳定性与过滤性能，有助于微藻浓缩，为利用废弃微藻衍生材料有效解决水产养殖尾水中磷的去除和回收挑战提供了一种生态友好的解决方案。其次，针对纳米吸附剂活性位点利用率低且回收难挑战，设计并制备了

聚砷基碳纳米管@ZIF-8 复合吸附膜, 实现同步过滤与吸附过程。系统探究了复合膜微观结构、低浓度磷去除性能与机制以及资源化应用潜力, 展现出在水产尾水及湖泊等复杂水环境中的广阔应用前景。

B05-27**基于液流电池的高能量效率电化学海水提锂系统**王雷*¹

1. 河北工业大学

摘要: 随着锂离子电池需求量的迅速增加, 锂需求量也与日俱增。以当前的需求增长趋势, 据预测到本世纪末, 已探明的锂资源储量将被消耗殆尽。除探查未探明的锂矿或卤水矿外, 开发新的锂资源获取途径是解决这一问题的有效途径。海水中锂资源总储量约 2300 亿吨, 但低锂浓度和高竞争离子浓度使从海水中提取锂资源异常困难。因此, 我们提出了一种基于液流电池的新型电化学海水提锂系统。该系统以 $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 为氧化还原电解质, $Li_{1.5}Al_{0.5}Ge_{1.5}(PO_4)_3$ (LAGP) 膜为锂离子选择性分离膜。通过在电极区域发生的氧化还原反应驱动原水中的阳离子在阴极区域富集, 阳极电解液中的阳离子迁移至回收溶液中。得益于 LAGP 膜的选择性, 富集的阳离子为锂离子, 且伴随着电解液的持续流动, 该过程可持续进行。该系统表现出优异的锂离子选择性, 其中 Li/Mg 和 Li/Na 选择性系数分别为 5×10^5 和 4.1×10^5 。得益于 0.6 V 的低驱动电压, 系统能耗仅为 2.5 Wh/g, 约为具有相似效果的电渗析系统的 1/7。

B05-28**聚合物/Ti₃C₂T_x 基电极材料微结构构筑及电容去离子性能研究**杨笑言*¹

1. 浙江理工大学

摘要: 淡水资源短缺是全球面临的亟待解决的问题。电容去离子技术利用电吸附原理实现对海水或苦咸水的淡化处理, 具有能耗低、环境友好的特点, 有望成为未来水净化的一个解决方案。但现有碳材料电极通过双电层电容模式发挥作用, 盐吸附容量受比表面积及孔径结构的限制, 使得电容去离子技术难以大规模应用。二维层状材料 $Ti_3C_2T_x$ 具有优异的亲水性, 较大的理论比表面积及良好的导电率, 将其用于电容去离子技术中有望提高系统的脱盐性能。本研究将 $Ti_3C_2T_x$ 与导电聚合物复合进行微观结构的设计, 构筑不同结构的电极材料, 减少 $Ti_3C_2T_x$ 的片层堆叠, 探讨不同微观结构及不同条件下对电容去离子技术的脱盐性能的影响规律与机制, 提高电容去离子系统的高效脱盐, 为电容去离子技术中电极材料的微结构构筑提供新思路。

B05-29**CDI 碳电极材料结构调控研究**陈文清*¹

1. 四川大学

摘要: 碳基电极材料在电容去离子 (Capacitive deionization, CDI) 领域具有广泛应用, 其性能高度依赖于微观结构特征。本团队聚焦于碳基电极材料的结构调控, 通过表面工程、缺陷工程、界面工程、结构工程等调控策略系统地构建了多尺度功能化的电极材料用于脱盐、脱氮除磷、重金属去除等领域。进一步地, 从孔径分布、缺陷位点、表面功能化等角度探讨了电极材料“结构-性能”的构效关系, 揭示了结构调控策略对电极材料 CDI 性能的协同优化机制, 为面向水处理应用的高性能 CDI 碳电极材料的设计制备提供了理论指导与技术支撑。

B05-30**水体中短链全氟化合物的电化学选择性去除**马金星*¹、杨文剑¹、赖杨钰²、蓝天珍³

1. 广东工业大学

摘要：全氟和多氟烷基物质（PFAS）是一类合成化学品，自 20 世纪 40 年代末以来，因其防水、防粘和低摩擦特性而被广泛应用于工业和消费品中。然而，由于其在环境中的持久性，PFAS 被称为“永久性化学物质”，在水生系统甚至人体血液中均有广泛检出，对人类和生态系统健康构成重大风险。同时，作为替代品的短链 PFAS 的使用增加，导致其在水生环境中普遍存在。然而，这些短链 PFAS 却具有更高的迁移性和亲水性，同时仍保持持久性，这使得从水中去除它们成为一项重大挑战。传统的化学处理方法在打破强碳氟键（531.5 千焦/摩尔）方面存在困难，并且常常会产生有害副产品。尽管离子交换树脂（IER）和颗粒活性炭（GAC）成本效益高，但在再生和废物处理方面存在局限性。此外，短链全氟和多氟烷基物质（PFAS）的吸附能低于其长链同系物，导致去除效率显著降低。例如，GAC 能有效去除全氟辛酸（PFOA）和全氟辛烷磺酸（PFOS）（高达 95%），但对短链 PFAS 的去除效率则大幅降低（40% -70%），增加了过滤器失效的风险。

受免疫系统中抗原 - 抗体相互作用的精确且可逆的“锁钥”机制启发，我们提出了一种可逆的高亲和力吸附策略。该方法利用了两个关键机制：（i）在较弱结合时与“垂直”排列的 PFAS 负电荷头部的可控相互作用，其中正极化促进捕获，负极化触发释放；（ii）PFAS 尾部与吸附剂之间的亲氟相互作用（C-F ··· F-C），以增强快速识别并过渡到“平行”排列以实现更强的结合。本研究采用接枝到氟碳纳米管（FCNT）上的 4-甲基丙烯酰氧基-2, 2, 6, 6-四甲基哌啶（TMPMA）和 4-甲基丙烯酰氧基-2, 2, 6, 6-四甲基哌啶-1-氧（TMA）单体的共聚物来实施这种“锁钥”策略，以实现高效且可逆的短链 PFAS 捕获。通过结合使用吸附动力学、带有耗散监测的石英晶体微天平（QCM-D）、单分子力谱（SMFS）和分子动力学（MD）模拟，阐明了分子尺度的吸附行为，并根据相互作用位点的数量区分了“垂直”和“平行”吸附模型。还展示了这种仿生材料在全氟和多氟烷基物质（PFAS）修复方面的实际应用性。

B05-31

MXene 基复合电极的可控构筑及其电容去离子性能研究

金俊*¹

1. 中国地质大学（武汉）

摘要：MXene 作为一种新型二维材料，由于其具有高比表面积、良好的导电性和亲水性，已被广泛应用于电容去离子（CDI）技术^[1,2]。然而，MXene 电极在使用过程中会面临 MXene 纳米片的聚集和重叠问题^[3]。为了解决这些问题，我们研究了 MXene 涂层厚度对其作为 CDI 正负电极时脱盐性能的影响。在初始电导率为 3000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 的 NaCl 溶液中，厚度为 18.41 μm 的 MXene 电极在 1.2 V 电压下表现出高达 100.9 mg g^{-1} 的脱盐能力^[4]。此外，我们采用无氟熔盐法制备了 MXene/Ni 复合材料，并将其用作 CDI 电极。在初始电导率为 500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 的 NaCl 溶液中，MXene/Ni 复合电极展现出 49.4 mg g^{-1} 的脱盐能力以及优异的循环稳定性^[5]。

参考文献：

[1] Xin Li, Xiang Fu, Youfang Zhang, Qunchao Zhang, Zhaoyang Wei, Ke Wang, Robert K.Y. Li, Dean Shi, Jun Jin, Chemical Engineering Journal, 2025, 511, 162040.

[2] Wen Xi, Jun Jin, Youfang Zhang, Rui Wang, Yansheng Gong, Beibei He, Huanwen Wang, Nanoscale, 2022, 14, 11923.

[3] Jun Jin, Wen Xi, Zongchang Li, Jianing Hu, Rui Wang, Yansheng Gong, Beibei He, Huanwen Wang, Youfang Zhang, Desalination, 2024, 578, 117468.

[4] Wen Xi, Youfang Zhang, Rui Wang, Yansheng Gong, Beibei He, Huanwen Wang, Jingjing Guo, Fangfang Jiao, Jun Jin, Journal of Alloys and Compounds, 2023, 947, 169701.

[5] Wen Xi, Tianzhuo Guo, Zeren Xie, Youfang Zhang, Rui Wang, Yansheng Gong, Beibei He, Huanwen Wang, Jun Jin, Desalination, 2024, 574, 117241.

B05-32

面向高效提锂的 HCDI 复合电极构筑与应用研究

张盼盼*¹

1. 河北工业大学

摘要：锂 (Li^+) 电池技术在电动汽车、便携式电子设备和储能系统中的广泛应用，使锂 (Li^+) 成为一种重要的战略资源。目前，全球对 Li^+ 的需求将达到 116 万吨，预计到 2032 年将超过 290 万吨。目前已设计出多种从盐水中提取 Li^+ 的技术，包括沉淀法、电渗析法和基于锂离子筛网的吸附法。然而，这些技术分别面临着工艺耗时、占地面积大、膜堵塞、动力学速度慢和循环稳定性差等核心挑战。最近，具有操作简单、速度快、效率高等特点的混合电容去离子法 (HCDI) 被应用于 Li^+ 的提取。尖晶石型 LiMn_2O_4 (LMO) 因其成本低、选择性高而成为 HCDI 中最广泛使用的 Li^+ 提取材料，但其固有的低电导率和易溶损等阻碍了其性能的发挥。因此，通过引入导电二维碳材料 (石墨烯、Mxene 等) 构建导电二维碳材料/LMO 复合电极用于快速、低耗、高稳定性锂资源提取。调控复合电极的微观结构和表面化学性质，获得丰富介孔结构、低曲度 Li^+ 传输通道、优异的导电性能、快速的溶液接触界面等关键因素，加快从各种盐湖卤水中 Li^+ 的高效选择性提取。

参考文献：

- [1] Zhang H., Zhao L., Guo Z., Wang L., Ma Y., Zhang P*, Wang J., Ji Z.*, Ultrashort and vertically aligned channels: boosted lithium selective extraction via hybrid capacitive deionization. *Environ. Sci. Technol.* 2025, 59, 13, 6881–6890.
- [2] Zhang H, Huang Z, Zhao L, Guo Z, Wang J, Liu J, Zhao Y, Li F, Zhang P*, Ji Z-Y*. Fast and stable lithium extraction enabled by less-defective graphene supported LiMn_2O_4 conductive networks in hybrid capacitive deionization[J]. *Chem. Eng. J.*, 2024, 482: 148802.
- [3] Zhang P*, Li J, Xing S, Jia Q, Wang J, Bi J, Guo Z, Wang L, Ji Z, Qu L*. Solar evaporators for saline water: sustainable clean water harvesting and critical mineral resources extraction[J]. *ACS Nano*, 2025, 19, 12, 11625–11647.
- [4] Zhao L, Zhang H, Yang T, Ma Y, Wang J, Guo Z, Huang Z, Zhang P*, Ji Z*. Promoting volumetric desalination rate and capacity via highly oriented, densified graphene architectures[J]. *ACS Mater. Lett.*, 2024, 6(8): 3238–3245.

B05-33**电化学离子分离的界面诱导成核机制及阻垢系统设计**罗亮^{1,2}, 刘涛², 何佳洲¹, 马金星^{*3}

1. 中国科学技术大学
2. 重庆大学
3. 广东工业大学

摘要：电容去离子 (CDI) 是一项有效的咸水软化和淡化技术。然而，实际苦咸水中大量钙离子和硫酸根离子容易在系统的浓水室富集，从而诱导硫酸钙结垢。电容去离子脱盐装置的浓水室包含阴、阳离子交换膜以及支撑层，为硫酸钙的成核提供了丰富的反应位点。硫酸钙在 CDI 系统的成核关键界面未知，成核机制不明。本研究针对上述问题，按照“影响探究—机制解析—系统优化”的思路开展了系列工作：构建了四腔室 CDI 装置用于咸水软化，可以实现同步的脱盐和产浓水；长期运行后装置的浓缩室产生大量硫酸钙结垢，导致水头损失上升；阳离子交换膜和支撑网为石膏晶体生长提供丰富成核位点，并且高的表面能和负表面电荷显著促进了组件表面的非均相成核过程；开发了离子选择性“复分解”CDI 系统，利用选择性离子交换膜实现钙离子和硫酸根离子的空间分置，从而根本杜绝 CDI 水软化过程的结垢问题。

B05-34**构建具有双功能的聚合物耦合法拉第赝电容材料实现高效的电化学提铀性能**蔡延萌¹, 赵金生^{*1}, Panagiotis Tsiakaras^{*2}

1. 山东省聊城市东昌府区湖南路 1 号聊城大学
2. 塞萨利大学工程学院机械工程系替代能源转换系统实验室

摘要: 从海水中提取铀对于通过利用铀来解决全球能源危机至关重要资源。电容去离子 (CDI) 是一种电化学提取技术, 在以下方面显示出巨大的前景, 其选择性捕集铀具有高效、经济、节能等优点。然而, 对于 CDI 来说, 探索具有高亲和力的新型材料进行快速提取以及回收铀仍然是一个挑战。成功设计了具有双功能特性的铀提取三元复合材料 polypyrrole@MoSe₂@MXene(PPy@MoSe₂@MXene), 该材料通过赝电容行为促进了铀离子迅速转移到 MoSe₂ 和 MXene 的层间, 而聚吡咯的离子交换容量和富氮活性位点有助于将铀从六价态 U(VI) 转化为难溶的四价态 U(IV)。受益于此, PPy@MoSe₂@MXene 复合材料取得了极高的铀提取能力, 为 659 mg g⁻¹, 10 次循环后保持再生率高达 84%。原位拉曼光谱进一步证实了在 CDI 过程中铀物种的转变。混合溶液中的选择性分析和密度泛函理论 (DFT) 证实 PPy@MoSe₂@MXene 的高选择性铀提取可归因于 PPy、MoSe₂ 和 MXene 的协同作用, 提供了方便的离子转移途径、丰富的离子活性位点。这项工作为设计先进的双功能从海水中提取铀的能力和选择性增强的材料提供了一种新的策略。

B05-35

煤矸石基功能材料研究进展: 从建材到电化学储能

潘芳慧¹, 王丙征¹, 梁淑贞¹, 马杰^{1,2*}

1. 环境生态修复功能材料与技术团队, 水资源与水环境工程技术中心, 土木工程学院, 喀什大学
2. 环境功能材料研究中心, 环境科学与工程学院, 同济大学

摘要: 煤矸石是我国累计堆存超 70 亿吨、年新增超 8 亿吨的最大工业固废, 其高值化利用是“双碳”目标下的核心任务。近年来, 煤矸石资源化研究逐步从传统建材 (如胶凝材料、砂浆) 拓展至电化学储能领域, 但电极材料方向仍缺乏系统性总结。本综述聚焦煤矸石基功能材料的跨领域进展, 填补该空白并推动多学科交叉发展。煤矸石的组分特性赋予其电极化潜力: 残碳 (15 - 30%) 经活化可制备多孔碳, 用于超级电容器或电池负极; 硅铝酸盐 (SiO₂/Al₂O₃ 总量 > 80%) 可衍生硅碳复合材料、沸石分子筛或直接电解为 Al-Si-Ti 合金; 铁 (Fe)、镁 (Mg) 等金属元素可合成过渡金属氧化物电极 (如尖晶石型 Fe₃O₄)。技术层面, 通过“脱硫 - 脱碳 - 分级分质”预处理、碱烧活化、微波辅助热解等方法可调控组分并提升电化学活性, 如改性煤矸石在锂-氧气电池中实现 8310 mAh g⁻¹ 高比容量及 > 180h 稳定性。然而, 该领域仍面临导电性调控机制不明、规模化转化技术不足、全生命周期评价缺失等挑战。未来需探索一步法合成、异质结构设计 (如非晶/晶相 MoO₃@煤矸石) 及产业耦合路径, 为固废驱动的绿色能源材料提供新范式。

B05-36

电容去离子技术的强化策略-材料、电场与传质

邓立波^{*1}

1. 深圳大学

摘要: 电容去离子技术由于其操作简单、无二次污染等优点, 被认为是一种极具前景的分离技术, 近年来在废水净化、资源提取与回收、硬水软化等领域得到了广泛的关注。然而, 基于双电层原理的分离技术仍然存在吸附容量低、选择性差等缺点, 特别是用于分离理化性质相近的金属元素例如铜/镍时, 分离系数仍然较低, 是限制本技术发展的瓶颈问题。本报告将介绍从电极材料、电场分布、热场强化传质等方面提高电容去离子性能的一些尝试。

B05-37

曲率强化 NH₂-MIL-53(Al) 电极增强氟离子扩散和电容去离子除氟效能

于飞^{*1}, 杨轶迪¹

1. 上海海洋大学

摘要: 传统电容去离子 (CDI) 材料由于其比表面积和化学成分的优化存在局限性, 通常表现出较低的氟吸附容量 (FAC)。通过改变曲率来调节局域电场强度 (LEF) 是实现高效离子存储的一种前瞻性策略。本研究开发了一种基于调制剂的新型曲率设计方法, 制备了三种具有相似比表面积但不同曲率的

NH₂-MIL-53(Al)材料, 并利用它们研究了曲率与 CDI 性能之间的构效关系。结果表明, 具有高表面曲率的海胆状电极(NCMOF-3)具有超高的除氟容量(61.29 mgNaF g⁻¹ electrodes⁻¹)和出色的充放电循环稳定性(10000 次循环), 优于传统的除氟材料。结合表面曲率/电场模型, 揭示了较大的表面曲率可能会导致电极表面较高的离子浓度分布。其作用机制可能是高表面曲率增强了电极材料的局域电场增强效应(LEFE)。本研究首次通过实验设计证明了曲率对 CDI 性能的潜在影响。更重要的是, 这项研究打破了基于比表面积的材料设计局限, 为基于曲率结构工程的下一代 CDI 材料提供了新的设计思路。

B05-38

卤水提锂电极的双掺杂晶体结构调控与无溶剂高载量结构构筑策略

赵晓昱^{*1}, 王雨双¹, 张慧², 王彦飞³

1. 天津科技大学

摘要: 面向日益严峻的锂资源供需矛盾, 针对我国丰富的盐湖卤水, 海水, 地热水, 油气田水中蕴藏丰富锂资源亟待开发的现状, 开发具备高选择性、高稳定性且适于规模化应用的提锂电极材料成为关键。本研究提出双掺杂晶体结构调控和微结构构筑的思路, 系统提升尖晶石型锰酸锂电极在复杂卤水环境中的提锂性能。

柔性基底赋予其优异的动力学适应性, 自支撑结构构建了三维连续的离子扩散和电子传导通道, 而铝-溴双位点共掺杂则促进 Mn³⁺向高价态转变, 诱导晶格重构, 从而有效抑制 Jahn-Teller 效应。同时通过理论计算验证, Al-Br 共掺杂有助于促进 LMO 晶格中锰价态转变, 并缩小其带隙, 从而有效抑制 Jahn-Teller 效应并增强电荷传输能力, 提升材料的电导率与结构稳定性, 为选择性锂嵌脱提供有利条件。

采用热压工艺制备无溶剂参与的高载量电极, 结合蚀刻钛箔作为集流体, 有效克服传统湿法涂敷电极去溶剂过程中造成裂纹与分层问题, 显著增强电极-集流体界面结合力, 降低电荷转移阻抗。同时构建出具有多尺度孔道结构的三维通道网络, 有利于锂离子与电子的快速协同传输, 并保持良好结构完整性。为实现绿色、高效的电化学溶液提锂提供了可行的电极设计思路。

B05-39

新型膜电容去离子装置耦合过一硫酸盐高级氧化去除抗生素与副产物离子

马俊俊^{*1}

1. 河北科技大学

摘要: 基于过一硫酸盐(PMS)的高级氧化技术已被广泛应用于抗生素的降解。然而, 降解过程不可避免地会引入硫酸根离子(SO₄²⁻)和其他含硫阴离子, 这些污染物对水和土壤环境构成了巨大威胁。针对这些问题, 本研究将 PMS 氧化引入新型膜电容去离子(MC-MCDI)装置中, 以实现四环素(TC)的降解和 PMS 反应副产物离子的同步去除。实验结果表明, 当四环素溶液(浓度为 40 mg L⁻¹)预吸附 10 分钟, 电压为 1.2 V, PMS 浓度为 4 mg mL⁻¹时, 四环素和离子的去除效率分别可达 77.4%和 46.5%, 且表现出优异的循环稳定性。此外, 探究了在 MC-MCDI/PMS 系统中 PMS 的活化过程以及主要产生降解作用的活性物质(ROS)。最后, 鉴定了四环素降解的中间产物, 提出了潜在的降解途径, 并分析了这些中间产物的毒性。本研究为处理四环素废水提供了一种有效的策略, 同时也为四环素的降解和离子同步进行提供了一种新的方法。

B05-40

微弧氧化制备 Fe-Mn 双金属类芬顿催化膜层及降解苯酚机制研究

夏琦兴^{*1}

1. 西北工业大学

摘要：常用的类芬顿催化剂多是粉体，在实际使用过程中存在易团聚，回收困难等问题，严重影响了其循环使用效果。本论文利用微弧氧化技术在 TC4 表面制备了双金属类芬顿固定化催化膜层，利用苯酚降解试验评价了膜层的类芬顿降解性能。

SEM、XRD 等表征结果显示，双金属催化膜层与 TC4 基体结合良好，表面具有大量的多孔结构，同时还形成了众多突起。催化膜层的化学成分来源于 MAO 电解液组分，即物相组成主要为 γ - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 和 Mn_3O_4 等氧化物，而 Ti 氧化物几乎没有在膜层表面形成，这可能是因为电解液浓度较高导致的。与单金属膜层相比，Fe-Mn 双金属膜层能够在光芬顿体系下实现 10 min 内降解 95% 以上的苯酚，降解速率是前者的 10 倍。而在无光条件下，双金属膜层依然能够在 30 min 降解 95% 以上的苯酚，此时单金属膜层无降解效果。机理研究显示，双金属膜层的 Fe 为核心催化位点，即降解反应是铁基芬顿过程；Mn 作为辅助催化位点，加速 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 循环的转化。由于 Fe/Mn 的协同作用，双金属膜层的应用 pH 范围从 pH 3.0 扩展到 pH 8.0。有趣的是，由于 Fe 物种和 Mn 物种紧密结合在催化膜层表面和内部孔洞，膜层经过 6 次循环后仍能够在 30 min 降解 >90% 苯酚，体现了良好的循环稳定性。

综上，本文报道的双金属催化膜层有效地改良了类芬顿催化剂在实际应用中的回收问题，并通过 Fe/Mn 协同作用提升的催化活性和应用 pH 范围。

B05-41

二维 MXene 材料微纳结构设计及脱盐性能研究

丁萌^{*1}

1. 西交利物浦大学化学与材料科学系

摘要：MXene 作为一种新型二维材料，具有优异的电导率、丰富电化学活性位点和大表面积等特性，逐渐成为电容去离子电极材料领域的研究热点。通过系统剖析 MXene 的微纳结构特征、本征性能参数及多元化制备工艺，深入总结其在 CDI 应用中展现的离子吸附动力学优势与界面电荷传输特性，同时揭示当前面临的结构稳定性瓶颈与规模化制备挑战。基于对 MXene 材料的设计原则和工程化策略的探讨，团队提出针对电容去离子应用的 MXene 材料设计方向，包括结构优化、基团功能化、界面工程与多元复合体系构建等方面的多重改进策略，并取得一系列优化的 MXene 基电极材料，实验数据表明：脱盐容量提升至 185.3 mg/g（较原始 MXene 提高 429%），离子吸附速率提升 226%，且经 80 次循环后容量保持率达 100%，显著突破传统电极材料的性能极限。最后，展望了 MXene 材料在电容去离子领域未来的发展前景，强调了其在高性能、高稳定性电容去离子设备中的潜在应用价值。本研究对于提高 MXene 材料在电容去离子应用中的性能，并促进其实际工程应用提供理论基础和研究思路。

B05-42

用于水净化的人造黑色素功能材料

徐源廷^{*1}

1. 四川大学

摘要：淡水资源短缺已经成为影响人类社会可持续发展的重要问题。污水处理和海水淡化被认为是解决该问题的两种重要途径，其中能够用于水净化的环境功能材料发挥着至关重要的作用。黑色素是一类生物体内存在的天然色素，并且凭借其广谱的吸光性能、丰富的吸附活性位点以及高活度的化学结构被广泛用于设计各类环境功能材料，从而在光热界面蒸发、污水处理等领域都开展了大量的热点基础研究。但黑色素的大分子结构比较复杂，单体的聚合过程既包含了无规的共价偶联反应，又涉及超分子组装过程，人们很难对其结构与性能进行有效调控。我们从其大分子结构的电子效应出发，通过不同的材料化学策略在聚合过程中引入新的结构基元构建电子给-受体对来调节材料的能级结构，有效降低了材料的能带隙和增加了电子离域效应，实现吸收光谱红移，涵盖了更多的可见光区域，显著提升了材料的光热性能，从而制备了一系列具有高光热转换效率和不同功能的人造黑色素材料。我们进一步将改性后的材料通过合适的加工手段制备获得一系列多功能、强光热的复合材料（如涂层、复合膜和气凝胶材料等），并将其用于海水淡

化和污水处理的应用。

B05-43

生物电化学技术调控铀还原机制

李猛^{*1}, 张鸿郭²

1. 广州大学

摘要: 本研究针对微生物电解池 (MECs) 在六价铀 (U(VI)) 修复中面临的电子转移效率低、生物膜形成缓慢及铀毒性抑制等挑战, 开发了一种钴纳米颗粒和氮掺杂碳 (CoNPs/NC) 复合材料修饰的生物阴极。通过材料表征、电化学分析和密度泛函理论 (DFT) 计算, 研究表明, CoNPs/NC 复合材料显著提升了生物阴极的导电性和电子转移效率, 同时减轻了铀对微生物的毒性抑制作用。CoNPs/NC 的束缚效应促进了电子的离域化, 进而加速了电子向吸附的铀酰离子的转移, 促进了 U(VI) 的还原, 形成不溶性的四价铀 (U(IV)) 沉淀。该复合材料还通过改善电极与微生物的相互作用, 优化了生物膜的稳定性, 进而提高了铀的回收效率。实验结果表明, 在 CoNPs/NC 修饰的生物阴极上, 微生物的代谢活性显著提高, 生物膜形成更加密集, 硫酸还原菌 (SRB) 的活动得到增强, 进而提高了硫酸盐还原和铀的沉淀效果。CoNPs/NC 材料作为电子中介, 既加速了电子转移, 又通过促进 SRB 代谢增强了铀的还原能力。研究还表明, CoNPs/NC 修饰的电极不仅提升了电子转移效率, 还能有效缓解铀毒性, 保持微生物的生长和活性, 从而确保系统在长时间运行中的稳定性。通过这种纳米材料驱动的电子转移策略, 本研究成功实现了铀的高效去毒和回收, 提供了一种可持续的水体污染修复技术方案。实验结果还显示, CoNPs/NC 复合材料在促进铀去除的同时, 还能通过形成稳定的铀矿物沉淀, 避免铀的再氧化, 确保了铀的长期去除效果。这种新型的电化学-微生物联合作用策略, 不仅提高了铀的回收效率, 还为水污染治理提供了新的思路和方法, 有望在复杂水体铀污染修复中发挥重要作用。

B05-44

pH 响应纤维分离膜的制备及油水分离性能研究

岳秀^{*1}, 窦永乐¹, 朱镕泽², 马鹏程³

1. 中国科学院新疆理化所技术研究所

摘要: 油水乳液是由互不相溶的液体在表面活性剂分散作用下形成的混合物。由于分散液滴尺寸小、稳定性高, 乳液高效分离已成为油水分离领域的难点。开发新型乳液分离材料并研究材料介入条件下乳液滴稳定性一直受到科研人员的广泛关注。通过静电纺丝、表面改性等方法获得了一系列环境响应型纤维分离膜, 其在复杂油水分离领域有较好的应用潜力。

将刺激响应型聚合物聚 N-异丙基丙烯酰胺、聚甲基丙烯酸 N,N-二甲氨基乙酯与聚丙烯腈共混进行静电纺丝, 获得具有温度和 pH 双重响应共混纤维膜, 该膜经 pH = 2.0/T = 50 °C 的酸性热水清洗后, 通量恢复率 > 98.9%, 有效克服了分离过程中通量下降的缺点。进一步采用顺序静电纺丝法制备 pH 驱动 Janus 复合纳米纤维膜。pH 响应层的表面润湿性可以在亲水性和疏水性之间切换, 实现对不同 pH 水溶液的阻塞和单向渗透态的控制。该膜表现出优异的油水效率, 对油水混合物的分离效率 > 99.9%, 对水包油和油包水乳液的分离效率分别大于 99.3% 和 95.7%。Janus 膜对 pH < 2 的酸性水具有不对称润湿性和单向传输行为, 可以进行水下集油/油下集水, 并可作为液体门控对化学反应进行控制。

此外, 通过硫磺基三组分偶联等反应对玻璃纤维、玄武岩纤维等进行表面改性, 可获得了具有纳米-微米多层级结构的纤维分离膜。分离膜在改性前后表面润湿性保持一致, 均具有表面超亲水、水下超疏油特性, 但改性后的分离膜表面带正电荷, 对非离子 (Tween 80)、阴离子 (SDS) 和两性离子 (BS-12) 表面活性剂稳定的 O/W 型乳液能实现有效分离, 最高分离效率为 95.4%; 但对阳离子表面活性剂 (CTAB) 稳定的乳液分离效率仅为 31.8%。基于上述结果提出了静电/氢键辅助聚集诱导破乳分离机理。通过 1,3-丙烷磺内酯与改性玻纤膜表面氨基的反应, 实现了对玻璃纤维表面两性离子化, 进一步获得了表面电荷可控的超亲水分离膜。该膜在酸碱溶液润湿下分别带正电荷和负电荷, 并对具有相反电荷的乳液表现出较高分

离效率,即碱润湿下可对 CTAB 稳定乳液具有选择性分离,分离效率为 96.9%,而酸润湿则有利于 SDS 稳定乳液的分离。对分离膜在不同荷电情况下对乳液的分离过程进行数值模拟,发现油水乳液的分离效率变化趋势与实验结果相同。当纤维与油滴带相反电荷时有利于纤维对油滴的捕获,分离效率更高,并且油滴在纤维滤材内部的沉积更快达到饱和,在滤材内部的分布也更均匀。

B05-45

MXene 基纳滤膜的构筑与性能调控研究

张文娟^{*1}, 张盼盼¹

1. 兰州理工大学

摘要: 随着全球水资源短缺与污染问题日益严峻,开发高效、稳定的新型分离膜成为水处理领域的研究热点。针对上述问题,本文通过交联、离子插层、表面修饰等多种调控手段对层状膜的结构与性能进行优化。不同链长的二胺分子与 MXene 层间官能团的共价键合,实现了对层间距的精准调控。短链 EDA 交联可以显著抑制溶胀,甲基蓝(MB)和刚果红(CR)截留率分别为 85.7%和 94.8%;而长链戊二胺交联可使水通量提升至 $68.8 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (4 bar)。K⁺插层与 PEI 表面修饰构建离子笼膜,使膜对金属离子(Na⁺、Ca²⁺、Cu²⁺、Pb²⁺)的截留率分别达 78.3%、84.5%、90.5%、85.6%,同时对甲基蓝(MB)和刚果红(CR)的截留率达 85.9%和 98.7%。

其次,采用界面聚合法(IP)制备了 MXene 复合纳滤膜(SMCF)。MXene 的二维片层在聚酰胺(PA)层内形成定向纳米通道,显著缩短了水分子的传输路径,使纯水通量达到 $103.8 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (6 bar),较未掺杂 MXene 的 PA 膜提升 173%。此外, MXene 表面负电性(Zeta 电位-10.4 mV)与 PA 层电荷的协同作用,强化了对染料的截留率(甲基蓝(MB)、刚果红(CR)>99%),以及重金属离子(Mg²⁺、Cu²⁺截留率>93%)的静电排斥与尺寸筛分效应,突破了传统 PA 膜的“trade-off”效应。

B05-46

Single-Atom Vanadium Anchored on g-C₃N₄ for Enhanced Peroxymonosulfate Activation in Ciprofloxacin Removal: Mechanistic Insights

MOHAMED FAISAL MALIK GASIM^{*1}

1. 中科院合肥物质科学研究院

Abstract: Antibiotics like ciprofloxacin (CIP) are increasingly detected in water bodies due to their persistence and resistance to biodegradation. CIP's presence, even at low concentrations, poses serious environmental and health risks, including the spread of antibiotic-resistant bacteria. Among advanced oxidation processes (AOPs), catalytic peroxymonosulfate (PMS) activation stands out for its ability to generate a diverse range of reactive species. However, the challenge remains to develop efficient, stable, and metal-efficient catalysts for practical application. Single-atom catalysts (SACs), where isolated metal atoms are stabilized on supports, offer a promising alternative with high atom efficiency, minimal metal usage, and enhanced catalytic reactivity. In this context, we developed atomically dispersed vanadium species anchored onto graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) through a straightforward calcination strategy. The V atoms are coordinated with N and O atoms in the g-C₃N₄ framework, forming a stable catalytic site. The resulting V-CN material (with only 0.10 at.% V) exhibited exceptional catalytic performance for PMS activation, achieving efficient degradation of CIP and demonstrating notable tolerance across a broad pH range, the presence of diverse co-existing ions, and varying water matrices. Mechanistic investigations revealed that the degradation process operates via a synergistic mechanism, comprising nonradical electron transfer (50%), IO_2 generation (30.8%), and lesser contributions from $\text{SO}_4^{\bullet-}$ (11.5%) and other oxidative species (7.7%). Distinct V redox cycles were responsible for each pathway. Furthermore, an in-depth examination of the V-CN catalyst's interaction with different antibiotics unveiled that the electrochemical properties of the target molecules critically influence the direction and efficiency of electron-transfer processes

during nonradical PMS activation. Finally, we propose a comprehensive degradation pathway for CIP, supported by toxicity assessments of the intermediates. This study advances the design of V-based SACs for selective and efficient antibiotic removal via PMS activation.

B05-47**温度场对流动电极电容去离子电荷传输影响机制研究**张欣源¹、周宏建²、张海民*¹

1. 中国科学院合肥物质科学研究院

摘要：本研究重点探究了通过季节更替和地域分布带来的关键温度变化影响流动电极电容去离子电荷传输过程，该机制对优化 FCDI 性能至关重要却长期未获足够关注。为此，我们提出热辅助式 FCDI 系统，通过调控流动电极与盐水温度模拟环境条件，系统研究了温度对 FCDI 电荷传输与脱盐能力的影响。首先执行等温模式实验，将流动电极与盐水控制在相同温度（0-50° C）以模拟自然大气温度变化及工业循环冷却水系统。实验结果表明温度与电吸附动力学呈正相关，升温通过促进离子电迁移与扩散显著提升了 FCDI 装置的电吸附能力。基于此，进一步设计非等温模式：保持流动电极温度为 50° C，对不同温度（0-50° C）盐水进行脱盐处理。最终成功对中国东部海水和工业循环冷却水实现脱盐处理，证实了温度场在 FCDI 实际应用中的可行性。

B05-48**Elucidating the efficacious capacitive deionization defluorination behaviors of heteroatom-doped hierarchical porous carbon nanofibers membrane**Ming Gao¹, Wenqing Chen*²

1. Tsinghua Shenzhen International Graduate School

2. Sichuan University

Abstract: Heteroatom-doped porous carbons, particularly those incorporating nitrogen functionalities, demonstrate exceptional electrochemical properties advantageous for capacitive deionization (CDI) defluorination. Nevertheless, the underlying mechanism of fluoride removal remains inadequately understood, warranting comprehensive investigation to facilitate the practical implementation of CDI technology. Herein, a novel nitrogen-doped hierarchical porous carbon nanofiber membrane (HPCNM) derived from a hydrochloric acid etched FeNi₃@CNFs (FeNi₃ alloy encapsulated within carbon nanofibers) network was reasonably designed and synthesized for CDI defluorination. The HPCNM electrode exhibited superior defluorination capabilities, attributed to its distinctive hierarchical porosity and compositional architecture. The novel material achieves remarkable performance metrics, including a defluorination capacity of 58.38 mg g⁻¹, rapid ion removal kinetics (0.97 mg g⁻¹ min⁻¹), and maintained efficiency throughout 20 operational cycles. Density functional theory (DFT) calculations indicate that nitrogen-doped carbon (NC) preferentially adsorbs fluoride, exhibiting the lowest adsorption energy. Fluoride interacts with NC through a combination of weak covalent bonds and van der Waals forces. Its inherent electronegativity, hardness, and high electrophilicity index, contrasted with low softness and nucleophilicity, facilitate the selective adsorption. Furthermore, an optimized NC electrode, operating at 1.2 V in simulated industrial wastewater, achieved fluoride removal compliant with national standards, demonstrating its practical applicability for treating contaminated effluent. These findings advance the understanding of selective fluoride removal, contributing to the development of targeted electrodes for industrial applications.

B05-49**层状双金属氢氧化物辐射接枝改性及其对铀的吸附去除研究**王茜¹，王月¹，彭静¹，翟茂林*¹

1. 北京大学化学与分子工程学院

摘要: 铀 (U) 是核反应的主要原料, 海洋中 U 总储量约为 45 亿吨, 可为核能提供上千年的原料。因此, “海水提铀” 被认为是最能实现可持续发展的核燃料获取方式。本工作以成本低廉、易于合成的层状双金属氢氧化物 (MgAl-NO₃-LDH) 为前驱体, 通过 γ 射线辐射技术, 将 4-氰基苯乙烯单体接枝共聚到 LDH 层板上, 再经偕胺肟化和碱处理后得到富含偕胺肟官能团 (AO) 的高效 U 吸附材料 LDH-[PAO]_x%, 并通过调整单体浓度、剂量率和吸收剂量等参数实现了层板上 AO 含量的有效调控。实验结果表明, LDH-[PAO]_x% 在高 (ppm) 和低 (ppb) 浓度下对 U 均表现出优异的吸附性能, 表观饱和吸附量高达 2480 mg g⁻¹, 吸附动力学可在 5 min 内达到平衡, 且可在较宽 pH 范围内 (3-10) 稳定吸附 U。经过 5 个吸附-洗脱循环后, 仍可保留 >80% 的 U 去除能力, 具有良好的重复使用性。在 10 ppm 加标海水中 72 小时吸附量达 240 mg g⁻¹, 在天然海水中 10 天吸附量达 3.80 mg g⁻¹, 且对 Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 和 K⁺ 等高浓度金属离子几乎不吸附, 展示出优异的选择性。与目前报道的其他吸附剂相比, LDH-[PAO]_x% 兼具高选择性和重复使用性的同时, 展示出更好的吸附性能和更高的官能团利用率, 有望作为高效吸附剂应用于海水提铀领域。

B05-50

用于去除车内低浓度, 多组分 VOCs 的 MOFs 材料设计与应用

王灏¹、刘庆岭*¹

1. 天津大学

摘要: 第一部分我们选择了具有代表性的 MIL-53(Al) 材料作为研究对象, 其性质稳定, 原料价廉易得, 具有极大的商品化潜力。本研究采用了合成后的溶剂辅助离子交换法, 以获得铝锰双金属 MOF 材料, 结果证明了在甲醇溶剂的辅助下, 可实现在室温下快速进行阳离子交换, 材料保持高结晶度的同时孔道发生轻微扩张, 1D 孔道的拓扑结构变得更适合容纳苯环, 在室温条件下, 锰主要取代掉结构内的对苯二甲酸配体, 并增加一部分金属团簇表面羟基的含量。这些表面羟基和锰都属于酸性位点, 随着其含量的提高, 材料表面负电荷明显增多, 材料表面从亲电子转变为亲质子, 考虑到苯的亲电子性质, 这对低浓度苯的捕获具有较大意义, 同时, 也会对材料的吸附抗水性产生正面影响, 最佳样品 Mn-ace-25 相比未改性的 MIL-53(Al), 对痕量苯的吸附容量增加了 120% 的同时, 也保证了抗水性。并且极易再生, 表现出极佳的吸附再生性, 与其他针对痕量苯的吸附材料对比, 在吸附容量和抗水性上皆有明显优势。通过一系列吸附动力学与吸附等温线模型进行分析, 证明了对该材料进行常温下的少量锰交换后可以同时提高对痕量苯的吸附性和抗水性

第二部分我们则针对 MIL-53(Al) 材料的合成工艺进行改进, 传统上该材料需要使用有机的 DMF 溶剂, 以高温热溶法制备, 这一过程容易产生大量有毒刺激性气体, 并排放大量有机废水, 污染环境的同时也增加了生产成本, 而将 DMF 完全取代为水则会造成有机配体不溶解, 产率较低的问题, 因此本研究使用碳酸钠作为促溶剂, 解决有机配体不溶于水的同时, 尽量保持最佳的水热反应环境,

以最大程度上确保产物性质不变。从结果看出水相制备与 DMF 制备的产物在晶体结构上出现了一些改变, 特别是原 MIL-53(Al) 的 1D 通道在使用纯水制备并焙烧活化后, 出现了结构收缩的现象, 孔道更加匹配苯环分子的动力学直径, 而加碱促溶则产生了更多小尺寸晶体, 增加了晶胞间的空隙通道。通过一系列元素表征证明了, 在活化过程中, 材料铝氧团簇表面的羟基与吸附的溶剂分子大量去除, 产物结晶度进一步提高, 使用促溶剂提高了铝前体物的利用率, 在最佳的水热反应条件与活化温度下, 添加碳酸钠作为助溶剂, 课加速配体的去质子化, 可以提高产量, 同时提高铝源和配体的利用率。核磁共振结果证实了在前体物溶液的上清液中, 溶液为近中性, 无游离的碳酸根和对苯二甲酸根, 去质子化产生的对苯二甲酸根与铝氧团簇完全反应形成固体物沉淀, 而该合成工艺的本质是酸碱中和反应, 生成的碳酸为弱酸, 分解为水和二氧化碳, 二氧化碳逸出, 对溶剂几乎无影响。在此情况下, 使用促溶剂可将产率提高到纯水状态下的三倍, 与 DMF 制备方法的产率相当, 与此同时, 水相产物表面的酸性较 DMF 相产物明显提高, 尤其是物理吸附的酸性位点明显增加, 与碱性的苯分子亲密度提高的同时也保证了较好的再生性。和 DMF 制备的 MIL-53 相比, 在同等条件下焙烧活化后, 水相制备的产物对低浓度苯的吸附量还出现了明显的提高,

在干燥和潮湿条件下分别提高了 50%与 72%，表现出极佳的再生性与吸附性能优势，成本也与传统的活性炭与分子筛材料接近。

第三部分，我们延续了第二部分的合成工艺与所得材料，通过混合有机配体

的设计方法，在不对材料整体物理性质造成太大影响的前提下，提高其对不同组分 VOC 的协同吸附性能，选择了甲苯和正庚烷两种在车内排放占比最大，但性质差异较大的两种特征污染物作为研究对象。从结果来看，该材料具有两种单配体材料结构的部分特征，但又有明显区别于二者的特征晶面，因此该材料是单一结构，而不是两种单组分的物理混合模式，该材料的孔径和比表介于两种单组分材料之间，仍以微孔为主，主要的两种孔径 0.62 nm 和 0.74 nm 分别符合对甲苯和正庚烷分子的容纳要求。表面官能团表征也证实了该材料无论从官能团组成与分布，热稳定性，表面酸性等都是介于两种材料之间的过度形态，理论上说明该材料可同时表现出两种单一组分材料的吸附性质，对甲苯和正庚烷都具备较好的吸附性。在双组分的动态吸附测试实验中，甲苯和正庚烷浓度一致，可看出对苯二甲酸-铝的组合更倾向于吸附正庚烷，而萘二甲酸-铝的组合则明显倾向于吸附甲苯，而混合配体的样品则对表现出中间态的吸附性质，其中，对苯二甲酸比 14 萘二甲酸为 6 比 4 的最佳配比下，其对甲苯的正庚烷的吸附容量都接近 90 mg/g，并表现出极好的抗水性。

B05-51

界面化学调控强化电容去离子除氟

张笑晨^{*1}

1. 同济大学

摘要：工业废水排放和高氟地区地下水导致的水体氟污染，长期摄入过量氟离子会引发氟斑牙、氟骨症等疾病。传统除氟技术如化学沉淀、吸附法和反渗透等存在处理效率低、运行成本高或产生二次污染等问题。电容去离子技术（CDI）因其低能耗、环境友好和操作简便等优势在除氟领域展现出应用潜力。然而，现有 CDI 电极材料仍面临除氟容量不足、吸附速率慢、规模化生产困难等问题，制约了该技术的实际应用。针对上述问题，本研究从电极材料界面化学调控入手，系统研究了电极/溶液界面化学与除氟性能的构效关系。通过调控材料本征特性，改善了材料的除氟容量和反应动力学。此外，还探索了工业化碳材料在 CDI 除氟中的应用，实现了高性能与低成本的平衡，为 CDI 技术的规模化应用提供了可行方案。

B05-52

一种改良的“质子酸”和“界面聚合”策略制备的 PAAQ 纳米颗粒应用于高效电容去离子除铵

陈天杰¹，于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院，上海 200120

2. 喀什大学土木工程学院，喀什 844000

摘要：随着水资源问题的日益突出，高效去除水中铵离子并实现资源回收成为关键需求。电容去离子（CDI）技术因低能耗和环境友好性备受关注，但传统无电极材料存在性能瓶颈，如碳材料吸附容量上限低、法拉第材料容易引发体积膨胀等。而有机电极材料因其高容量、环保性以及结构可调性，在 CDI 技术中展现出广阔的应用前景。不过，有机材料氧化还原活性位点不足，且吸附动力学受扩散控制，导致过程缓慢，从而限制了其实际应用。本研究创新性地采用质子酸催化和界面聚合策略，成功制备了具有丰富氧化还原活性位点和 π 共轭结构的聚氨基蒽醌（PAAQ）。借助有机聚合物低结晶度和高可控性的特点，通过优化合成工艺，PAAQ 实现了小粒径和高比表面积，显著提升了其电吸附性能和结构稳定性。实验结果表明，在施加 1.2 V 电压时，PAAQ 对铵离子（ NH_4^+ ）的吸附容量高达 120.43 mg/g，吸附速率达到 9.22 mg/(g min)。经过 50 次 CDI 循环后，其吸附容量仍可保持初始值的 84.1%，展现出优异的循环再生能力。通过电化学石英晶体微天平（EQCM-D）等技术分析，揭示了 PAAQ 中 C=O 基团通过醇化反应吸附和释放 NH_4^+ 的微观机理。本研究为高性能有机 CDI 电极材料的设计与制备提供了新思路，推动了电容去离子技术在铵离子去除及资源回收领域的应用与发展。

B05-53

锰取代增强 $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$ 的电容脱盐性能及其循环稳定性谭剑雄^{1,2}、周宏建^{*1,2}

1. 中国科学技术大学

2. 中国科学院合肥物质科学研究院

摘要: $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$ (NFPP) 凭借其优异的结构稳定性、经济性和环境友好性, 被认为是电容去离子 (CDI) 技术中极具应用前景的聚阴离子电极材料。然而, 在传统合成过程中不可避免地生成电化学惰性杂质相 (NaFeP_2O_7 和 NaFePO_4), 这严重制约了 NFPP 材料的电化学性能。针对这一关键问题, 本研究提出了一种锰离子掺杂与表面碳包覆协同优化的双重改性策略, 通过溶胶-凝胶法结合高温退火工艺, 成功制备了系列 $\text{Na}_4\text{Fe}_{3-x}\text{Mn}_x(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7@\text{C}$ ($x\text{Mn-NFPP}@\text{C}$) 复合电极材料。系统表征结果表明: 适度的锰掺杂 (掺杂量 $0 \leq x \leq 15\%$) 可有效弱化 Fe-O 键的强相互作用, 显著抑制杂质相的生成; 同步进行的表面碳包覆处理构建了三维导电网络, 提高了材料的电子电导率。值得注意的是, 锰掺杂同时激活了 $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$ 氧化还原电对, 与碳包覆层的协同效应使复合材料展现出卓越的 Na^+ 离子存储能力。作为典型代表, $15\%\text{Mn-NFPP}@\text{C}$ 电极在 5 A g^{-1} 电流密度下表现出 165 F g^{-1} 的高比容量, 其电化学性能显著优于未改性样品。在 CDI 脱盐测试中, 该电极对初始浓度为 700 mg L^{-1} 的 Na^+ 离子溶液展现出 68.25 mg g^{-1} 的脱盐容量, 且在经过 50 次循环后仍保持 85% 以上的容量保持率, 体现了出色的循环稳定性。密度泛函理论计算进一步揭示: Mn 取代 Fe 位点有效缩小了 NFPP 的带隙宽度, 这从电子结构层面合理解释了材料导电性提升的机理。本研究通过实验与理论的有机结合, 证实了杂原子掺杂与表面碳修饰的协同策略可显著提升 NFPP 材料作为 CDI 脱盐阴极的综合性能, 为开发高效稳定的脱盐电极材料提供了新的设计思路。

B05-54

界面引导组装 UiO-66/Graphene Oxide 混合体以增强钠离子筛分能力和结构稳定性

陈进峰¹、马杰^{*1}

1. 同济大学

摘要: 基于电双层 (EDL) 的 CDI 系统能够快速存储和去除离子, 但在高压条件下存在离子选择性有限、容量低和结构不稳定等问题。要克服这些制约因素, 就必须使用具有精确设计的传输途径和化学相干界面的材料。我们介绍了一种界面工程平台, 该平台基于通过氧引导外延策略在单层氧化石墨烯 (GO) 上生长的金属有机框架 (MOF) 混合物。在合成过程中, 受控暴露在环境湿度下可实现石墨烯的逐步氧官能化, 从而促进 Zr^{4+} 的锚定和 UiO-66 的成核, 同时保持 sp^2 混合碳晶格。尽管引入了致密的羧基、羟基和环氧基团, 但这种方法最大程度地减少了 π -共轭损失, 从而保持了电子导电性。由此产生的 UiO-GO 混合物结合了 UiO-66 作为离子导体膜 (ICM) 的离子吸附功能和 GO 的电子导电性。它们的混合界面受 MOF 负载和界面结构的影响, 可介导离子吸附和传输选择性。凝胶封装配置中的优化成分 (0.5 UiO-GO) 在 1.6 V 电压下的 Na^+ 吸附容量为 60.74 mg g^{-1} , 在 100 次循环中的保留率为 85%。密度泛函理论 (DFT) 揭示了混合界面上显著的电荷再分布, 验证了强烈的离子-电子耦合作用。这种模块化设计策略为集成离子-电子传输系统提供了一种新的范例, 在保持石墨烯固有导电性的同时实现了选择性离子分离。

B05-55

Deciphering the performance and mechanism of electronegative polyelectrolyte-entwined metal-organic framework in customizing polyamide nanofilms and low-resistance transmembrane channels

Jinchao Chen¹, Chuanxin Hou¹, Yuan Jing¹, Elia Gadallah¹, Xingran Zhang¹, Xiaofeng Fang¹, Fang Li^{*1}

1. Donghua University

Abstract: Since interfacial polymerization (IP) is a reaction-diffusion process, rational regulation of the diamine diffusion is beneficial for the construction of ideal polyamide (PA) membranes. Herein, we reported a

regulation strategy of electronegative polyelectrolyte (PSS)-entwined metal-organic framework (UIO-66-NH₂) to engineer the IP process and the microstructure of the PA layer. Molecular simulations and comprehensive characterizations demonstrated that the PSS/UIO-66-NH₂ modulates PIP diffusion kinetics via H-bonding and electrostatic interactions, while constructing a loosely organized interfacial region. This dual mechanism promotes uniform interfacial distribution of monomers, ultimately yielding a thinner, defect-free polyamide (PA) layer with reduced crosslinking density. Due to the slightly increased interaction energy between PSS/UIO-66-NH₂ and oil-phase, PSS/UIO-66-NH₂ tended to migrate to the interface for reaction with chloride, and stabilized at the interface by optimized interfacial microenvironment, thus establishing low-resistance transmembrane channels. The optimized membrane achieved exceptional performance, with a water permeance of 23.58 L m⁻² h⁻¹ bar⁻¹ and a Na₂SO₄ rejection rate of 97.73%. The strategic integration of PSS-entwined UIO-66-NH₂ in regulating the IP process showcases considerable potential for weakening the limit of upper bound.

B05-56

一步可持续双盐模板法合成葡萄糖衍生多孔碳，通过电容去离子去除铵离子

缪璐薇^{*1}

1. 四川大学

摘要：探索新型碳基电极材料对于通过电容去离子（CDI）提高铵离子（NH₄⁺）去除性能是必要的。在这里，通过一步可持续的双盐模板法成功制备了葡萄糖基多孔碳电极（3G-3N-XK），该方法具有模板和活化的双重作用。得益于高比表面积、发达的孔结构、适当的缺陷、充足的氧掺杂和卓越的电容控制动力学，收到的 3G-3N-XK 电极表现出优异的电容性能。因此，最佳的 3G-3N-2K 表现出卓越的 NH₄⁺ 去除性能，具有出色的吸附能力（27.97 mg g⁻¹200mg L⁻¹）、显著的吸附率（0.044 mg g⁻¹s⁻¹200mg L⁻¹）和良好的循环稳定性。结合表征和理论计算进一步加深了对 NH₄⁺ 吸附机理的理解。这些发现突出了 3G-3N-2K 在 CDI 中的潜力，并为碳基电极在高效去除铵方面的应用奠定了坚实的基础。

B05-57

聚丙烯衍生的硫化亚铁碳纳米花团簇应用于电容去离子脱氯

倪津¹，于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院，上海 200120

2. 喀什大学土木工程学院，喀什 844000

摘要：废塑料的持续积聚正引发严峻的环境污染问题。如何高效地将高碳含量塑料转化为功能性碳材料，同时避免使用腐蚀性试剂，并尽量减少催化剂的浪费，已成为塑料资源化利用的关键挑战。传统方法通常需要通过酸洗来去除催化剂，这不仅阻碍了催化剂在碳材料中的直接应用，还导致催化剂无法回收利用并产生二次污染。在本研究中，我们提出了一种原位催化策略，采用二茂铁和升华硫作为双催化体系，将聚丙烯（PP）塑料直接碳化为包覆有 FeS 的碳纳米花复合材料。在热解过程中，这两种组分反应生成 FeS 纳米颗粒，该产物不仅作为催化副产物存在，同时也是一种法拉第材料。FeS 嵌入于碳材料之中，显著提升了材料的电荷储存能力，从而增强其离子去除性能。该策略无需酸洗，实现了催化剂的完全利用，避免了二次污染和材料浪费。所制备的包覆 FeS 的碳纳米花团簇材料电极表现出优异的电容去离子（CDI）性能。在浓度为 500 mg·L⁻¹ 的 NaCl 溶液中，施加 1.2 V 电压时，该电极展现出高达 64.67 mg·g⁻¹ 的盐吸附容量（SAC），同时具有快速的离子去除动力学和良好的循环稳定性。本研究展示了一种可持续的催化碳化路径，将催化副产物功能性地整合进最终材料中，提供了一种绿色、高效且可规模化的方法，将塑料废弃物升值利用为水处理用高性能电极材料。

B05-58

原位构建 CNTs/Zr-BTB 三维导电纳米网络协同电容去离子脱氮除磷

丁晨鑫¹、周宏建*¹

1. 中科院合肥物质研究院固体物理研究所

摘要：针对城市化进程中氮磷污染加剧水体富营养化的严峻挑战，本研究开发了一种基于锆基金属有机框架（Zr-MOF）的复合电极材料 Zr-BTB@CNTs（ZB@C），并结合电容去离子（CDI）技术实现了硝酸盐与磷酸盐的高效共去除。通过水热法将 Zr（IV）金属中心与 1,3,5-三（4-羧基苯基）苯（H3BTB）配体原位锚定于碳纳米管（CNTs），成功构建了具有丰富缺陷结构的三维导电纳米网络。实验结果表明，当 CNTs 负载量为 20 wt% 时，ZB@20C 电极在 1.2 V 工作电压下对 500 mg L⁻¹ 的 NO₃³⁻ 和 PO₄³⁻ 表现出显著的协同吸附性能，其吸附容量分别达到 222.08 mg g⁻¹ 和 159.85 mg g⁻¹（120 min 内完成）。该电极在宽 pH 范围（3-11）内表现出稳定的电化学活性，并在连续 10 次吸附-再生循环后仍保持高于 80% 的污染物去除率。多组实际水样的测试结果均符合世界卫生组织（WHO）排放标准，证明了 ZB@C 在实际应用中的潜力及其对氮磷污染物的选择性去除能力。通过密度泛函理论（DFT）计算结合 X 射线光电子能谱（XPS）和傅里叶变换红外光谱（FTIR）分析，揭示了以 Zr-O-P 配位键为主导的静电吸附-化学配位双机制协同作用路径。本研究设计了一种结构优化的 MOF 复合电极，为发展高效的双污染物去除 CDI 技术提供了新范式，并对推动电化学水处理技术的工程化应用具有重要意义。

B05-59

金属有机框架形貌的有效控制及其对水中过量氟离子的高选择性去除

宋江燕*¹

1. 同济大学

摘要：过量氟离子（F⁻）污染饮用水是全球性的环境问题，长期摄入会导致氟斑牙、骨骼疾病等健康危害。金属有机框架（MOFs）因其可调控的孔隙结构和高比表面积，在氟离子选择性吸附领域具有广阔应用前景。然而，传统 MOFs 材料在吸附容量、选择性和形貌控制方面仍存在挑战。本研究通过甲酸调控 MOF-on-MOF 异质结构生长和聚乙烯吡咯烷酮（PVP）介导的双金属 Ce-Zr MOFs 晶体形貌控制，实现了高效、高选择性的氟离子去除，并系统探究了形貌-性能的构效关系。我们采用一锅溶剂热法，通过调控甲酸的浓度，实现了 MOF-on-MOF 异质结构的可控生长。实验表明，甲酸不仅作为矿化剂调节 MOFs 的结晶度，还能通过竞争配位作用影响次级 MOF 在 Ce-MOFs 表面的外延生长。低甲酸浓度下，形貌较为分散，而高浓度下，则出现不规则的异质生长模式。优化的 MOF-on-MOF 异质结构具有更高的比表面积和更优异的氟离子去除性能。

B05-60

金属有机框架复合材料对碘的富集

陈子晔¹，曹清扬¹，徐文文*¹

1. 四川大学

摘要：本工作以核电可持续健康发展迫切需求为导向，针对活性炭、分子筛掺杂银等传统材料对放射碘吸附量低、选择性差等问题。基于金属有机框架材料(MOFs)在碘的富集中具有独特优势，制备 MOFs 复合材料及其功能化用于碘高效富集；明晰复合材料的成分、功能基团、孔道结构尺寸等对碘高效选择性富集影响的内在构效关系。支撑金属有机框架材料复合材料吸附性能的优化，有利于加速 MOFs 复合材料在放射性气态碘捕捉的应用。

设计加工一台用于材料对碘吸附性能验证的实验装置系统。

采用等离子体诱导接枝技术制备了胍基功能化 MOFs，并用于碘的吸附实验，专利已授权。

制备出木质素多孔碳与 MOFs 复合材料用于碘的吸附。

B05-61

Light/铁基 MOF/H₂O₂ 体系高效降解水中 GAT 性能对比及机理研究张英杰*¹

1. 上海海洋大学

摘要：针对氟喹诺酮类抗生素加替沙星（GAT）在水环境中普遍存在且难降解的问题，以及传统处理技术和光催化技术面临的效率低、二次污染、电子-空穴复合及紫外光依赖等局限性，本研究致力于高效、环境友好的可见光降解技术。基于铁基金属有机框架（Fe-MOFs）材料所具有的高比表面积、优异的水稳定性、光敏性和绿色合成特性，本研究通过溶剂热法成功制备了上述三种 Fe-MOFs 作为非均相催化剂。构建了可见光驱动类芬顿体系（light/催化剂/H₂O₂），并系统比较了三种 Fe-MOFs 在该体系中对 GAT 的降解性能，筛选出最优催化剂。进一步研究了初始溶液 pH 值、H₂O₂ 投加量和最优催化剂添加量等关键操作参数对 GAT 降解效率的影响。通过电子顺磁共振（EPR）技术揭示了反应过程中的主要活性物种，并结合密度泛函理论（DFT）计算预测了 GAT 分子易受攻击的降解位点。利用液相色谱-质谱（LC-MS）技术推测了 GAT 可能的降解路径。此外，通过大肠杆菌和杂菌培养实验评估了降解过程中溶液的抗菌活性变化，并采用发光细菌发光抑制率法评价了降解前后溶液的急性毒性。本研究不仅填补了 Fe-MOFs 应用于 GAT 降解研究的空白，其揭示的降解机理、路径及毒性变化规律，也为同类抗生素污染物的高效、绿色治理提供了重要的理论依据和技术参考。

B05-62

锰氧化物锂离子预插层策略基于电容去离子从低品位卤水中选择性提取锂

鲍阳^{1,2}, 姬泽莹³, 周鸿儒³, 张翠², 宋少先³, 贾菲菲³, 李剑波*³, Mildred Quintana²

1. 四川大学

2. 圣路易斯波托西自治大学

3. 武汉理工大学

摘要：在这项工作中，合成了锂含量可调的 Li 预插层 λ -Li_xMnO₂，表现出优异的电化学性能和双模式电化学存储行为。双电层和扩散控制法拉第工艺在充放电过程中发挥作用，从而提高了锂的选择性吸附能力。当用于混合电容去离子（HCDI）时， λ -Li_{1.5}MnO₂ 在 32.74 mg L⁻¹ 锂离子溶液中获得 33.68 mg g⁻¹ 的锂吸附容量和 0.19 Wh g⁻¹ 的低能耗。此外， λ -Li_{1.5}MnO₂ 电极表现出优异的循环稳定性，在 100 次插层/脱嵌循环中具有 80% 的显著容量保持率和 1.2% 的锰溶解损失率。 λ -Li_{1.5}MnO₂ 在合成卤水中实现了出色的锂选择性，在 Mg/Li 摩尔比为 30 时，分离因子为 ≈ 32.7 。重要的是， λ -Li_{1.5}MnO₂ 在罗布泊谢利盐田的低品位原卤中实现了较高的锂吸附容量和良好的选择性，使其成为从低品位原卤中提取锂的候选电极。预插层策略为其他插层电极材料的合理化设计提供了一种可行的选择，以便从低品位原卤中电化学提取锂。

B05-63

碳包覆五氧化二铌的电容脱盐性能研究

江杰*¹

1. 中国科学院合肥物质科学研究院

摘要：本研究提出了一种可控碳包覆策略，旨在解决正交晶系五氧化二铌（T-Nb₂O₅）导电性差（ 3×10^{-6} S cm⁻¹）和循环稳定性不足的问题。通过两步水热碳化法成功制备了碳含量分别为 5 wt%、10 wt% 和 20 wt% 的 Nb₂O₅ 复合材料（Nb₂O₅@C_x），并对其在电容去离子（CDI）中的性能进行了系统评估。表征结果显示，均匀的碳包覆层（厚度约为 5-10 nm）显著提升了材料的电导率（ $>10^{-3}$ S cm⁻¹），同时有效抑制了颗粒团聚（D₅₀ < 200 nm）。电化学测试表明，Nb₂O₅@C₁₀ 电极在 1 M NaCl 电解液中表现出 70.8 F g⁻¹ 的高比电容和优异的循环稳定性（500 次循环后容量保持率为 90%）。在脱盐实验中，Nb₂O₅@C₁₀ 电极在 1.2 V 的工作电

压下实现了 56.8 mg g^{-1} 的电吸附容量以及 70 圈循环吸脱附后 80% 的容量保持率, 其电荷效率高达 95.8%, 能量消耗低至 $2.97 \text{ J mg}^{-1} \text{ Na}$ 。机理分析进一步揭示, 碳包覆层不仅改善了电荷转移动力学, 还优化了离子扩散路径。该研究为设计高性能 CDI 电极材料提供了新的思路。

B05-64

可生物降解地膜在不同土壤环境中老化特性及其对抗生素的吸附机理研究

张欣¹, 于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院, 上海市, 200120

2. 喀什大学土木工程学院, 喀什市, 844000

摘要: 农用地膜残留是全球农田塑料污染的重要来源, 可生物降解地膜 (BDM) 被视为潜在替代品。然而, BDM 在自然环境中难以完全快速降解, 其衍生的可生物降解微塑料 (Bio-MPs) 比传统微塑料 (MPs) 更易在土壤中长期累积。因此, 系统阐明 Bio-MPs 在环境老化过程中作为污染物载体的效应, 特别是其对共存污染物吸附行为的动态演变规律, 对精准评估其农业生态风险至关重要。本研究选取聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯 (PBAT) 与聚乳酸 (PLA) 两种典型 BDM 材料, 探究了其在两种土壤环境 (水稻土、沉积物) 中的老化行为及其对喹诺酮类抗生素环丙沙星 (CIP) 吸附的影响机制。结果表明: (1) 富含有机质和微生物活性的沉积物环境, 特别是表层, 加速了 BDM 的老化进程, 其中白色 PBAT 地膜在表层老化特征最为显著。(2) 老化作用增加了地膜表面含氧官能团丰度, 显著提升了其衍生 Bio-MPs 对 CIP 的吸附能力。值得注意的是, 在沉积物表层老化的白色 PBAT 地膜老化程度最高, 表面粗糙度显著增大, 其 CIP 吸附能力最强。此外, 表层老化增强了地膜表面疏水性, 而深层老化则增加了亲水性, 这一变化趋势与 CIP 吸附的促进与抑制规律一致。(3) Bio-MPs 对 CIP 吸附的增强主要归因于老化过程引发的比表面积增大、表面电荷性质改变以及疏水相互作用的协同效应。本研究揭示了关键环境因素 (土壤类型、深度、地膜颜色、材质) 显著影响 Bio-MPs 的老化行为, 进而调控其吸附典型抗生素的关键机制, 为深入评估 BDM 大规模应用后的潜在环境风险提供了重要科学依据。

B05-65

Fluorine-Doped Carbon Nanofiber Aerogel Anode with Enhanced Electrosorption Capacity for Efficient Removal of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)

Ruiquan Yu^{*1}, Xiaoyan Li¹

1. Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University

Abstract: Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are persistent environmental pollutants that pose substantial challenges to water treatment owing to their recalcitrant properties. This study presents a novel fluorine-doped carbon nanofiber (F-CNF) aerogel anode, developed via interfacial engineering, for the efficient electrochemical removal of PFAS, including perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS). The F-CNF aerogel was synthesized through electrospinning, freeze-drying, and pyrolysis, with fluorine incorporation validated by scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Electrochemical evaluations demonstrated a low charge transfer resistance of 15Ω and a stable current density of 12 mA cm^{-2} over 160 hours at 1.2 V vs. RHE, underscoring superior electrochemical stability and performance relative to undoped CNF. Electrosorption experiments revealed maximum capacities of 45 mg g^{-1} for PFOS and 36 mg g^{-1} for PFOA at pH 8, with kinetics exceeding those of undoped CNF. Mechanistic insights derived from XPS, density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD) simulations, and in-situ Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) highlighted specific fluorine-mediated interactions (F-F interactions) and efficient diffusion as primary contributors to enhanced performance. These findings establish F-CNF aerogels as a highly effective material for PFAS removal, providing a robust platform for advancing electrosorption-based water purification technologies.

B05-66

界面调控增强碳基 $\text{Co}_9\text{S}_8@\text{MoS}_2$ 异质结的电化学铀提取李千禧¹, 周宏建^{*1}

1. 中国科学院合肥物质科学研究院

摘要: 在全球低碳能源转型的当务之急下, 从海水中高效提取铀资源已成为支持核能作为基本负载能源的紧迫性。电容式去离子 (CDI) 是一种很有前途的技术, 可用于从水溶液中去去除铀污染物, 但仍然面临容量低和选择性差的挑战。在这项工作中, 我们创新性地设计了一种 N 掺杂空心碳框架限制的 $\text{Co}_9\text{S}_8@\text{MoS}_2$ 异质结电极 (NHC-CMS), 通过调制界面电子结构并构建三维传质通道, 从而实现铀酰离子 (UO_2^{2+}) 的高选择性和高容量捕获。实验结果表明, 电吸附性能优异, 在 500 mg L^{-1} 铀溶液中的最大吸附容量为 581.55 mg g^{-1} , 明显优于单个 Co_9S_8 和 MoS_2 组分。值得注意的是, NHC-CMS 电极表现出出色的选择性, 在 30: 1 的 $\text{Na}^+/\text{UO}_2^{2+}$ 比例下实现了 824 的摩尔系数, 同时在掺杂了 50 mg L^{-1} 铀溶液的模拟海水中保持了 65.27 mg g^{-1} 的高铀提取率。理论计算表明, 界面内置电场和电荷再分布的协同效应增强了 Co-Mo 硫化物异质结内富硫位点的 U-S 配位, 而选择性电吸附铀主要由静电吸引驱动。这项工作为开发高性能电化学铀萃取电极提供了一种新策略, 展示了从含铀海水和核废水修复中回收铀的巨大潜力。

B05-67

 $\text{Nb}_2\text{CT}_x/\text{Nb}_2\text{O}_5$ Heterostructure with Built-in Electric Field for High-Performance Capacitive DeionizationZixiao Xu^{*1}

1. Tongji University

Abstract: MXenes hold significant promise for capacitive deionization (CDI), but their wider application in desalination is hindered by issues such as restacking, instability, and insufficient active sites. To address these limitations, this study employs a partial derivation strategy to synthesize a hybrid material composed of Nb_2O_5 nanorods supported on Nb_2CT_x MXene ($\text{Nb}_2\text{CT}_x\text{-Nb}_2\text{O}_5$). Within this heterostructure, the Nb_2O_5 nanorods serve dual functions: (1) acting as a shielding layer to inhibit MXene oxidation, and (2) providing expanded ion intercalation channels while preventing Nb_2CT_x restacking. Concurrently, the conductive Nb_2CT_x substrate facilitates charge transport for the Nb_2O_5 nanorods. Crucially, the semiconductor nature of Nb_2O_5 (with its low work function) drives interfacial electron transfer during heterostructure formation. This process generates a built-in electric field, significantly accelerating charge transfer kinetics and enhancing electrochemical performance. Consequently, the $\text{Nb}_2\text{CT}_x\text{-Nb}_2\text{O}_5$ hybrid demonstrates outstanding desalination capabilities: a high salt adsorption capacity (SAC) of 51 mg g^{-1} at 1.2 V, an impressive salt removal rate (SRR) of $1.7 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$, and exceptional cycling stability (95% capacity retention over 200 cycles). The synergistic interplay between Nb_2O_5 and Nb_2CT_x not only mitigates MXene instability but also provides an intrinsic strategy for optimizing ion storage and electrochemical kinetics through interface design that promotes rapid charge transfer. This work establishes a novel design paradigm for realizing the efficient utilization of MXene materials in high-performance CDI systems.

B05-68

基于界面聚合法制备耐氯 ZIF-L/PDA 疏松纳滤膜及其染盐分离性能研究

姚楠¹, 高春梅^{*1}

1. 上海海洋大学

摘要: 本文报道了一种基于沸石咪唑酯骨架-L (ZIF-L) 与聚多巴胺 (PDA) 协同改性的疏松纳滤膜制备方法, 该膜能够高效实现染料废水中盐与染料的分离。在这项研究中, 通过向哌嗪水相 (PIP) 中添

加 ZIF-L 和 PDA, 使其与三氯甲苯酰氯 (TMC) 发生界面聚合反应, 在聚醚砜 (PES) 微滤膜表面构建了一种新型耐氯负电荷疏松纳滤膜。ZIF-L 纳米片的引入形成了疏松的分离层结构, 为水分子提供了额外通道, 从而显著提高了膜的通量。PDA 的协同引入不仅增强了结构的交联稳定性, 还改善了膜表面的亲水性。通过扫描电子显微镜 (SEM)、X 射线衍射 (XRD)、傅里叶变换红外光谱 (FT-IR)、X 射线光电子能谱 (XPS) 和原子力显微镜 (AFM) 等表征技术证实了 ZIF-L 和改性膜的成功制备。结果表明, 2 wt% ZIF-L/PDA 负载的膜表现出最佳性能, 其水通量达到 $31.56 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$, 是纯膜的 3.19 倍。此外, 最优膜对染料表现出高截留率, 包括铬黑 T (99.25%)、酸性铬蓝 K (97.87%) 等。同时, 最优膜对无机盐保持高渗透性, 对 NaCl (7.80%)、 MgCl_2 (9.89%) 等均呈现低截留率。该膜还展现出优良的稳定性, 在强酸、强碱、高压条件下性能保持稳定, 并表现出优异的耐氯性能。因此, ZIF-L/PDA 疏松纳滤膜在染料废水处理领域具有广阔的应用前景。

B05-69

光响应纳滤膜协同去除一级 A 出水环境中抗生素的自清洗行为研究

蒙纯纯*¹

1. 同济大学 环境科学与工程学院

摘要: 光响应纳滤膜 (NFL) 是有效去除降解有机微污染物的前沿技术之一。然而, 在净化真实微污染水体的长期运行过程中, 从微观角度主动减缓污垢的机理却很少被研究。为此, 通过浸涂辅助真空过滤技术将熔盐辅助氮化碳光催化剂锚定在致密纳滤膜顶面, 获得一种拓展响应范围的 NFL 膜。然后, 首次利用配备窗口模块的压电晶体界面原位分析仪, 在定量识别溶质-溶质/膜相互作用的辅助下, 从分子水平探讨了连续动态去除一级 A 出水环境中的抗生素时光响应 NFL 膜面的自清洗式污染物减量附着行为。膜面感测到的耗散振荡频率、纳克级附着量和可视化的污染物空间分布结果均表明, 活化后的 NFL 膜面仅有零星的污染物附着 ($651.10 \text{ ng cm}^{-2}$)、极低的污染层厚度 (6.44 nm) 和不可逆的污染率 (1.80%), 从而赋予其优异的自清洁特性。这可能是由于活性氧 (主要是 O^{2-} , 和 OH) 同时破坏了污垢层的完整性及其内部粘附结构, 将 NFL 膜表面的部分不可逆污垢转变为易于洗掉的可逆污垢所致。这些新视角将从微观分子级交互作用角度为明晰 PNF 膜的自清洁污染物附着机制提供有益的见解。

B05-70

草酸钾活化竹基活性炭电极用于电容去离子高效去除硝酸盐

肖伟龙¹、黎人铨²、缪璐薇³、高铭⁴、李珂⁵、陈文清*¹

1. 四川大学

摘要: 氢氧化钾因其优异的活化效能被广泛应用于碳电极活化, 然而其剧烈反应性和强腐蚀性给实际生产带来严峻挑战。本研究选用反应温和、腐蚀性低的草酸钾作为活化剂, 以来源广泛的竹材为原料, 通过简单的热解法制备了竹基活性炭系列电极 (PB41、PB21、PB11、PB12、PB14), 并结合多种表征技术与性能测试对材料进行系统评价。结果表明, PB11 展现出最优综合性能: 具有发达的孔隙结构 (比表面积 $1339.51 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, 孔容 $0.63 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) 和最高无序度 ($\text{ID/IG}=1.10$); 电化学性能优异 (比电容 131.01 F g^{-1}); 硝酸盐吸附性能突出 ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 溶液中吸附容量为 31.62 mg g^{-1} , 吸附速率为 $1.05 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$); 在等摩尔浓度 $\text{F}^-/\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 混合体系中, 对 NO_3^- 的选择性系数达 2.35 ($\text{KN/F}=1.72$, $\text{KN/Cl}=3.01$, $\text{KN/S}=3.17$), 显示出良好的离子选择性; 经 100 次吸附-脱附循环后容量保持率高达 94.83%, 证明其具有良好的循环稳定性。该研究为绿色制备高性能电容去离子电极及高效去除水体硝酸盐提供了新策略。

B05-71

Structural engineering and defect engineering synergistically enhanced 1T-MoS₂ efficient Zn²⁺ trapping

Haodi Shi¹, Mengjiao Xu*¹, Luxiang Wang¹, Jie Ma²

1. Xinjiang University

2. Tongji University

Abstract: The development of efficient and sustainable technologies for the removal of Zn ions from wastewater is a challenging task. Capacitive deionisation technology has significant potential in the field of heavy metal purification in water, and the two-dimensional material MoS₂ is regarded as a potential candidate due to its layered structure, but its narrow layer spacing and sulphur-terminal chemical inertness limit ion transport and adsorption activity. In this paper, we propose an ultrasound-induced structure-defect synergistic engineering strategy for the preparation of doubly modified MoS₂ (D-MoS₂), which exhibits an extended layer spacing and a high concentration of S vacancies. The Zn²⁺ removal capacity of D-MoS₂ reached 143.84 mg·g⁻¹ at 1.2 V. An in-depth study of Zn²⁺ removal as affected by the surface defects and structural properties of MoS₂ was done by DFT calculations. This work will provide a new strategy and mechanism reference for the structure optimisation of 2D materials and Zn²⁺ separation in water.

B05-72

通过常温无溶剂法合成的二维 NH₂-MIL-53(Al)/MXene 异质结构衍生碳用于电容去离子高效除氟孙利萍¹、于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院
2. 喀什大学土木工程学院

摘要: 随着芯片、光伏等行业的蓬勃发展, 大量的高含氟工业废水在生产过程中产生, 若将其未经处理达标排放, 将导致严重地下水和地表水的氟污染问题。开发经济高效, 低能耗, 无二次污染的除氟技术已经成为研究热点。合理设计高性能电极材料对于提高电容去离子 (CDI) 除氟性能至关重要。金属有机框架 (Metal-organic Framework, MOF) 具有大的比表面积和多孔结构, 近十年来已在众多领域得到了广泛的研究。但由于 MOF 导电性低和不充分的 CDI 循环稳定性, 大多数 MOF 不能直接用作 CDI 电极, 需要通过多种策略进一步优化, 本研究通过简单的常温无溶剂法将 NH₂-MIL-53(Al) 纳米颗粒原位自主装在二维 MXene 纳米片的表面和层间成功构建二维 NH₂-MIL-53(Al)/MXene 异质结构, 再经碳化过程获得二维 MOF 衍生碳包覆 MXene 的复合材料 (ANC/MXene), ANC/MXene 的二维多孔复合结构不仅能减少 MOF 衍生碳纳米片的团聚、避免 MXene 纳米片的再堆积, 还能增大 MOF 衍生碳的比表面积, 提高材料导电性以及结构稳定性, 同时获得高效离子捕获和转移能力, 用作 CDI 阳极材料时获得高氟捕获能力 (80.05 mg g⁻¹) 和高除氟速率 (6.27 mg g⁻¹ min⁻¹)。经过 40 次 CDI 循环后, 除氟性能仍能保持初始值的 90.2%, 表明其具有优越的循环稳定性能, 具有作为优秀 CDI 除氟材料的潜力。

B05-73

水热-活化协同调控石榴皮生物炭分级孔道与表面化学用于高效电容去离子脱盐

梁淑贞¹, 潘芳慧¹, 马杰^{*1,2}

1. 喀什大学
2. 同济大学

摘要: 针对电容去离子 (CDI) 技术中生物炭电极材料比表面积低、导电性差及离子传输缓慢的核心问题, 本研究创新性地提出水热预处理耦合两步 KOH 活化策略, 以新疆石榴皮废弃物为原料制备高性能生物炭电极。通过 180°C 水热预处理保留石榴皮纤维骨架并预氧化生成羧基/羟基官能团, 结合液相 KOH 浸渍-高温活化协同工艺, 实现了分级多孔结构定向构建, 显著加速离子扩散; 石墨化度与残留多酚官能团共同提升电荷存储容量; 脱盐性能突破, 在 1.2 V 电压下对 1000 mg/L NaCl 溶液吸附容量达 67.66 mg/g。

研究表明, 石榴皮中多酚类物质, 在水热过程中形成的含氧官能团, 与 KOH 两步活化形成的介孔主导分级结构, 协同优化了双电层电容与法拉第反应贡献。该工作为农业废弃物高值化利用提供了新思路, 在苦咸水淡化领域具显著应用潜力。

B05-74

具有水下超疏油表面的双交联 MXene 增强膜用于高效油水乳液分离

程艳蕊¹、邢云青^{*1}

1. 上海海洋大学

摘要：膜分离技术因其高效节能的特点，已成为含油废水处理的有效手段。然而，传统聚合物膜在处理水包油（O/W）乳液时仍面临重大挑战，特别是在实现高渗透性的同时保持优异油截留率和长期运行稳定性方面。本研究提出了一种新型双交联 MXene 增强水凝胶涂层策略，该策略通过单宁酸（TA）-聚乙烯醇（PVA）氢键网络与 TA-Fe³⁺金属-多酚配位络合物的协同作用，并结合亲水性 MXene 纳米片的增强效应，采用真空辅助沉积技术在聚偏氟乙烯（PVDF）膜表面构建了具有高亲水性的坚固水下超疏油界面。最优膜表现出稳定的分离通量（3897.7 L m⁻² h⁻¹ bar⁻¹），是原始 PVDF 膜的 13 倍，同时保持 99.18% 的油截留率。值得注意的是，该膜展现出优异的抗污染性能，15 次分离循环后通量恢复率（FRR）仍超过 85%。此外，在多种操作应力（包括水冲洗、机械摩擦、超声处理和苛刻化学条件（pH 3-11, 1 M NaCl））下仍能保持 >98% 的分离效率。本研究为开发可用于工业含油废水处理的高性能分离膜提供了一种可规模化制备的方法。

B05-75

电化学过氧酮体系定向裂解废水中芳香族化合物制备马来酸研究

刘剑波^{*1}，祖道远¹，马金星¹

1. 广东工业大学

摘要：制药及化工行业废水具有总有机碳（TOC）浓度高（5-50 g/L）、生物毒性强（芳香族化合物占比超 60%）等特点，传统的水处理技术应用受限。以羟基自由基（•OH）为活性物种的高级氧化技术虽然可实现污染物矿化，但面临高物耗和能耗的挑战。此外，该过程中碳资源以 CO₂ 形式散逸，无法实现“废水-化学品”的资源转化，造成碳资源的浪费。针对上述挑战，本论文提出并构建了一种电化学过氧酮反应体系，旨在定向裂解芳香族化合物生成高价值小分子醛酸类化学品。实验结果表明该体系可高效催化氧化裂解苯甲酸及其同系物，选择性生成马来酸。与传统 Fenton 技术相比，马来酸的产量提高 10-50 倍。通过进一步的电化学表征与同位素追踪技术，表明电化学过氧酮过程产生的激活态过氧阴离子为主要活性物种，相对自由基的无序反应性，该活性氧具有更高的选择性，能够通过环氧化氧化路径直接裂解苯甲酸的苯环结构。这一选择性裂解路径有效抑制了过度氧化副反应，保障了产物（小分子醛酸）的纯净度与收率。研究结果为高碳废水的资源化路径提供了一种具有潜力的技术范式。

B05-76

协同化学牵引和预插层策略实现高效铵捕获的 MnO₂ 复合材料杜淑雯^{*1}

1. 东莞理工学院

摘要：δ-MnO₂ 独特的层状结构有利于离子的嵌入和脱嵌，是一种理想的电容性去离子（CDI）电极，可有效去除铵离子（NH₄⁺）。然而，MnO₂ 在实际应用中受到自聚集、导电性较差，反应动力学迟钝的限制，导致 CDI 的脱铵性能较差。在此，利用苯胺的化学牵引效应，采用一种简单快速的一步无机/有机界面反应，合成了聚苯胺（PANI）插层 MnO₂ 和碳纳米管（CNTs）复合的新型材料（P/M-C-X）。PANI 插层后增加的层间距和引入的氧空位与 CNTs 构建的 1D/2D 导电互连结构的协同效应可以有效地增强导电性能，促进离子/电子扩散，增强电荷反应动力学。结果表明，P/M-C-50 具有优异的 NH₄⁺ 去除性能，最大盐吸附量（SAC）为 160.0 mg g⁻¹，超高盐吸附率（SAR）为 1.07 mg g⁻¹ s⁻¹，循环稳定性好。此外，通过结构表征、电化学分析和理论计算，加深了对 NH₄⁺ 储存机理的理解。本研究表明，P/M-C-50 作为 CDI 脱铵电极具有广阔的潜力，为铵资源的有效回收和再利用奠定了坚实的基础。

B05-77

以废治废：浒苔生物衍生碳用作电容去离子阳极实现高效除氟

马劭谦¹, 于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院
2. 喀什大学土木工程学院

摘要：随着全球水资源短缺问题的日益严重，氟污染已成为影响人类健康和生态平衡的关键因素之一。在众多除氟技术中，电容去离子技术（Capacitive deionization, CDI）因其高效、节能和环境友好等优点而备受关注。出于资源化利用的考虑，来源广泛、成本低廉且环境友好的海洋生物质废弃物可作为 CDI 电极的候选材料。本研究通过高温碳化处理，将海洋废弃物浒苔转化为具有高比表面积以及丰富孔隙结构的浒苔生物衍生碳（Enteromorpha Prolifera derived carbon, EPC），并首次将其用作膜电容去离子（Membrane CDI, MCDI）阳极用于除氟。在 100 mg L⁻¹ NaF 给水条件下，MCDI 测试中吸附容量可达 32.56 mg g⁻¹，远高于之前报道的任何纯碳材料。比表面积分析（BET）测试表明 EPC 比表面积高达 282.61 m² g⁻¹，并且孔径分布优异，这为其高效的离子传输和吸附性能奠定了基础。此外，拉曼光谱及 X 射线光电子能谱（XPS）测试证实了 EPC 的高石墨化程度，X 射线荧光光谱（XRF）测试证明了 EPC 含有丰富的杂原子，这说明其具备良好的电荷传输潜力。本研究证实了浒苔生物衍生碳用作 CDI 电极材料的可行性及其潜在价值，为解决海洋生物质废弃物的处理问题提供了新的思路，助力国家实现“双碳”战略。

B05-78

无铅卤化物钙钛矿 Cs₃Bi₂Br₉ 的水体抗生素污染治理研究贾荣荣¹, 吴健豪¹, 蔡宇星¹, 侯梦珊¹, 李兰¹, 金成超¹, 陈智^{*1}

1. 中国计量大学

摘要：光催化技术作为解决能源与环境问题的关键技术，其核心在于开发高效稳定的光催化剂。无铅卤化物钙钛矿 Cs₃Bi₂Br₉ 因具有优异的光电性能，在环境分离与净化领域展现出潜力。然而，其光生载流子复合率高和水稳定性差等问题严重限制了其实际应用。针对 Cs₃Bi₂Br₉ 存在的以上缺陷，本研究从功能性配体修饰、异质结构建及非结构性配体修饰三种策略入手，进行了相关研究。

首先，使用功能性配体 TCPP 成功修饰了 Cs₃Bi₂Br₉ 纳米片，拓展了材料的光响应范围，并有效阻隔绝水的侵蚀，最优配比的 Cs₃Bi₂Br₉-TCPP 光降解效率可达 84.04%，是纯 Cs₃Bi₂Br₉ 的 1.17 倍。其次，采用原位生长方法开发了一种 I 型异质结结构的 PCN-222/Cs₃Bi₂Br₉ 光催化材料，其较大的比表面积，有力的促进了对盐酸四环素的光降解。其最优配比 PC75 可降解约 82.05% 的盐酸四环素，在自然光照 8 h 后可降解 96.72% 的盐酸四环素。最后，采用多种非结构性配体对上一实验中制备的 PC75 进行修饰，其中 NH₂-BA 修饰后的催化剂光催化性能最优，1 h 光降解盐酸四环素可达 86.62%。本研究结合最新研究进展，提出异质结构建和表面修饰优化策略，成功制备出光生电荷分离性能优异、水稳定性良好的复合光催化剂，促进 Cs₃Bi₂Br₉ 在水体抗生素污染治理领域的进一步发展。

参考文献

- [1] Wu J., Chen Z*, et al., Applied Catalysis A: General, 2024, 689, 120009.
- [2] Wu J., Chen Z*, et al., Journal of Environmental Sciences, 2024, 152, 577–583.
- [3] Li C., Chen Z*, et al., Ceramics International, 2024, 50 (21), 42127–42134.
- [4] Chen X., Chen Z*, et al., Journal of Colloid and Interface Science, 2025, 683 (2), 1049–1056.
- [5] Li C., Chen Z*, et al., Rare Metals, 2025, prepublsh: 01–11.

B05-79

超稳定且快速的 MXene 衍生 TiO₂通过 rGO 约束形成 3D 网络结构，用于电容去离子和同时降解磺胺甲噁唑李丹¹, 陈泽秋^{*1}

1. 上海第二工业大学

摘要: 为解决电容去离子 (CDI) 技术中电极材料稳定性差及同时去除有机污染物能力不足的瓶颈问题, 本研究通过原位生长自组装策略, 构建了超稳定、超快离子传输的 MXene 衍生 TiO_2/rGO 三维网络复合材料 (简称 MXene/ $\text{TiO}_2\text{-rGO}$)。该三维网络结构可有效缓解 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene 的自堆积问题。同时, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 与 rGO 可抑制 TiO_2 团聚并提升导电性, 从而增强 MXene/ $\text{TiO}_2\text{-rGO}$ 的电子导电性和结构稳定性。因此, 该复合材料展现出优异的脱盐性能和卓越的长期循环性能。此外, MXene/ $\text{TiO}_2\text{-rGO}$ 也展现出良好的光催化性能, 在氙灯照射下, 可与 PMS 协同作用有效降解 SMX。

B05-80

UV/g- C_3N_4 @BiOI/ H_2O_2 体系高效降解水中 DETA 性能及机理研究李卓¹, 高春梅^{*1}

1. 上海海洋大学

摘要: 本研究采用溶剂热法成功合成了具有异质结结构的 g- C_3N_4 @BiOI 纳米复合材料, 实现了二乙烯三胺 (DETA) 在紫外光下的高效降解。通过 XRD、XPS、TEM 以及 UV-vis DRS 等表征方法研究了 g- C_3N_4 @BiOI 的结构、形貌以及光催化性能。探究了不同条件下 DETA 的降解效率, 结果表明: 在紫外光与双氧水的协同作用下, pH=10.3, H_2O_2 投加量为 0.4 mL/L, 50wt %g- C_3N_4 @BiOI 纳米复合材料投加剂量为 0.06 g/L 时, 降解效果最佳, 反应 15 min, DETA 的降解率达到了 88.95%, 30min 后 DETA 去除率为 95%。光催化降解循环实验以及对催化剂反应前后的表征证明了 g- C_3N_4 @BiOI 具有较高的稳定性。自由基淬灭实验和 EPR 测试结果证明 DETA 降解过程中的主要活性物质是 $\cdot\text{OH}$ 。此外, 结合 Gaussian 软件和 GC-MS 分析结果, 推测得到了 DETA 可能的降解途径。通过毒性评估软件 TEST 和绿豆发芽实验对 DETA 降解液及其中间体的毒性进行评估, 结果表明, UV/g- C_3N_4 @BiOI/ H_2O_2 体系降解 DETA 能够良好地实现溶液脱毒。

B05-81

Mn and Ni Co-doped Cu-based Prussian Blue Analogue Electrode for High-performance Capacitive Deionization Desalination.

Fanglin Lai¹, Changle Li^{*1}, Xiaojie Shen¹, Xingtao Xu¹

1. Zhejiang Ocean University

Abstract: Amid the growing scarcity of freshwater resources and increasing environmental pollution, capacitive deionization (CDI) has emerged as a promising technology for seawater desalination due to its high efficiency, low energy consumption, and facile regeneration. A critical challenge in enhancing CDI performance lies in the development of Faradaic electrode materials with improved charge transfer kinetics. Among these, Prussian blue and its analogues (PB/PBAs) have attracted significant attention owing to their facile synthesis and tunable structures. However, their practical application is often hindered by poor electrical conductivity and limited cycling stability.

To address the trade-off between desalination capacity and cycling durability, this study proposes a bimetallic co-doping strategy to fabricate a manganese-nickel co-doped copper-based Prussian blue analogue (MnNiCu-HCF) via a simple co-precipitation method. In this system, Mn doping enhances the electrochemical capacity, while Ni doping mitigates the Jahn-Teller effect, thereby improving structural stability. The resulting MnNiCu-HCF electrode exhibits a high desalination capacity of 71.2 mg g⁻¹ and outstanding cycling stability with a capacity retention of 96.9% after 50 cycles.

This work not only provides a cost-effective approach for enhancing CDI performance but also offers valuable insights for the industrial advancement of CDI technology.

墙报

B05-82

Efficient Oxidative Removal of Indoor Formaldehyde Using Functionalized Activated AluminaTing Wang¹, Chaopeng Fu¹, Jiao Zhang^{*1}

School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University

Abstract: Formaldehyde (HCHO) has become a significant indoor air pollutant, arising from the widespread use of decorative and construction materials. Adsorption is the most convenient method for HCHO removal. However, the current adsorption is limited by the current low adsorption capacity and desorption. Herein, activated alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) loaded with permanganate was proposed for the efficient oxidative removal of indoor HCHO. The results demonstrate that the permanganate-containing alumina-based pellets (PAP) with 75% of alumina (PAP-75) displayed the highest adsorption capacity of $10,800 \mu\text{g g}^{-1}$. This high adsorption capacity is mainly attributed to the presence of numerous pore structures within the pellets, good dispersion of permanganate on the surface and inside the spheres, abundant surface-active sites, and high porosity. The adsorption kinetics explains that the chemisorption, intraparticle diffusion, and film diffusion are the primary rate-controlling steps. This study provides an effective strategy for further improving alumina-based adsorption materials for HCHO removal.

B05-83

KOH 改性碳纳米纤维负载 BiOCl 用于流动电极电容去离子高效脱盐孙利萍¹, 于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院

2. 喀什大学土木工程学院

摘要: 淡水资源短缺问题随着全球人口增长和工业等经济活动的蓬勃发展愈发严重。同时, 化工、造纸、印染等行业生产中均有大量含氯废水产生, 其不仅有腐蚀工业设备的风险, 若不处理达标排放还可能导致土壤盐碱化, 水源污染甚至危害人体健康。因能连续处理高盐废水, 流动电极电容去离子 (FCDI) 相比于传统的固定电极电容去离子 (CDI) 更具有应用推广潜力, 更易于实现规模化生产。FCDI 电极材料通过与电解液混合形成浆液或悬浮液进入流道循环运行实现连续脱盐。然而, 流动电极中不连续的电荷传输网络限制了脱盐性能的提高。本研究通过水热法构建了一种碱改性碳纳米纤维负载 BiOCl 的复合电极材料 (CNFs@BiOCl-X)。碳纳米纤维组成的导电网络, 使得电子能够在活性材料之间快速传输。通过一系列表征探讨了不同浓度碱修饰的碳纳米纤维上负载的 BiOCl 纳米结构的变化, 碱浓度对最终复合材料的形貌、物相和亲水性的影响。其中 CNFs@BiOCl-5M 获得了更高 BiOCl 负载量、更高亲水性, 在 NaCl 溶液初始浓度为 1000mg L^{-1} 的 FCDI 脱盐实验中表现出了 3 h 内去除率 (RE) 达 94.75%, 最高去除速率 (ASAR) 达 $15.48 \mu\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1}$, 能耗 (EC) 仅 $0.88 \text{kWh kg}^{-1}\text{-NaCl}$ 的优异脱氯性能。本研究首次将铋碳耦合材料应用于 FCDI 中, 使 Bi/BiOCl 基材料摆脱了 Bi/Bi³⁺ 间转化带来的体积变化和应力集中问题, 拓宽了铋基材料作为电极材料的应用场景。

B05-84

吡啶基功能化壳聚糖改性磷酸锆的制备及其铀吸附性能王艳^{*1}

1. 绵阳师范学院

摘要: 高效、快速提取铀不仅对环境修复具有重要意义, 对解决铀储存短缺 also 具有重要意义。本文以吡啶-3-乙酸、壳聚糖、氯化锆等为原材料, 通过一锅两步法制备了吡啶基功能化壳聚糖改性磷酸锆

(IAA-CTS@ZrP)。IAA-CTS@ZrP 利用阳离子- π 作用、离子交换作用与络合作用的协同效应，对提取水溶液中的铀具有卓越的性能。结果表明，该材料的最适 pH 为 3~8，IAA-CTS@ZrP 铀的吸收速度极快（15 min），去除率高（99%）。吸附过程符合准二级动力学模型和 Langmuir 模型。298 K 时，IAA-CTS@ZrP 对铀的最大吸附量可达 1217.9 mg g⁻¹。解吸实验表明，0.1 mol/L 的盐酸溶液可使吸附的铀解吸下来，IAA-CTS@ZrP 可多次重复使用，再生的 IAA-CTS@ZrP 在 7 个循环后的去除率保持在 85% 以上。综上，这种新型吡啶基功能化壳聚糖改性磷酸锆是一种在含铀水溶液中分离与富集铀领域中极具应用前景的功能化材料。

B05-85

负载 Cu/Cu₂O 的聚乙烯醇/碳纳米管导电水凝胶应用于电容去离子除氯

陈天杰¹，于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院，上海 200120

2. 喀什大学土木工程学院，喀什 844000

摘要：氧化亚铜（Cu₂O）作为一种经济高效的储氯电极材料，在脱氯应用中显示出巨大的潜力。然而，在电化学过程中，作为阳极的 Cu₂O 很容易氧化溶解为游离的铜离子（Cu²⁺），导致铜成分的损失，进而使得电极性能下降。在这项工作中，我们引入了一种三维（3D）自支撑的聚乙烯醇/碳纳米管（PVA/CNTs）导电水凝胶作为 Cu₂O 的载体应用于电容去离子（CDI）电极材料。其中，PVA 作为抗氧化剂，抑制 Cu₂O 转化为游离 Cu²⁺，CNT 作为铜粒子的生长载体，使其在电极材料中分布更加均匀，3D 水凝胶结构可以容纳大量的水，使 Cu₂O 与水中的氯离子充分接触并储存。在 1.4 V 下，Cu/Cu₂O@PVA/CNTs 导电水凝胶（Cu@CHs）对氯离子具有 48.84 mg g⁻¹ 的单位质量吸附性能和 13.87 mg Cl⁻¹ cm⁻² 的单位面积吸附性能，并且在 100 次循环中没有明显的性能下降。本研究以 PVA 为核心成分，提出了一种构建高面积性能 3D 材料的简单策略，并为解决 CDI 工艺中法拉第材料的氧化溶解问题提供了优化思路。

B05-86

In situ construction of rod-shaped Fe₃O₄/N-doped carbon architecture with superior lithium-ion extraction performance via employing hybrid capacitive deionization system

Lijia Wan^{*1}, Anhao Fu¹, Chenhongwen Deng¹, Junping Hu¹, Likun Pan²

1. Nanchang Key Laboratory of Photoelectric Conversion and Energy Storage Materials, Nanchang Institute of Technology, Nanchang

2. Shanghai Key Laboratory of Magnetic Resonance, School of Physics and Electronic Science, East China Normal University

Abstract: With the increasing global demand for lithium for electric vehicles and 3C products, the development of reliable lithium recycling technology has become a pressing issue. Hybrid capacitive deionization (HCDI) is considered a highly promising and environmentally friendly method for extracting lithium from seawater and brines, thanks to its excellent cycling efficiencies and reversibility. Here, a rod-shaped Fe₃O₄/N-doped carbon (FO/NC) structure was successfully synthesized via initial hydrothermal processing and subsequent in-situ carbonization and used as an HCDI electrode. Owing to its unique structural features and desirable chemical composition, the rod-shaped FO/NC electrode achieved a high lithium ion extraction capacity of 0.57 mmol g⁻¹ after 50 cycles at 1.2 V, with good cycling performance. More significantly, the FO/NC electrode demonstrated remarkable Li⁺ selectivity (the Li⁺/Mg²⁺ separation factor at low Li⁺/Mg²⁺ molar ratio (1:1); and in a synthetic salt-lake brine). The superior Li⁺ selectivity of the FO/NC electrode over other ions was also verified by Density Functional Theory calculations, which is attributed to its greater adsorption energy for Li⁺ ions. FO/NC is a promising candidate electrode for lithium extraction from unconventional sources like seawater and brines.

B05-87

硫调控下聚丙烯转化为富硫碳材料及其在电容去离子脱氯中的应用

倪津¹, 于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学, 上海 200120

2. 喀什大学土木工程学院, 喀什 844000

摘要: 随着塑料污染持续加剧, 如何实现废弃塑料的高效资源化转化成为亟需解决的关键问题。同时, 高性能碳材料在电化学水处理等领域的广泛应用, 也对其可持续生产提出了更高要求。鉴于废塑料自身的高碳含量, 将其转化为功能性碳材料被视为解决环境挑战并满足材料需求的有前景途径。然而, 现有转化过程往往面临碳收率不高或材料性能难以精准调控等挑战。本研究提出一种基于硫元素调控的碳化策略, 用于将聚丙烯 (PP) 塑料转化为硫掺杂碳材料, 并将其应用于电容去离子 (CDI) 体系中以实现氯离子高效去除。在碳化过程中, 硫的引入有效诱导聚合物链发生脱氢与交联反应, 抑制了小分子挥发产物的形成, 从而显著提高了碳收率, 并赋予材料硫掺杂骨架与多级孔结构。所得碳材料在电化学测试中表现出优异的离子储存性能, 在 CDI 过程中具有良好的脱氯能力。本工作不仅为废塑料的高值化利用提供了新路径, 也为水处理功能材料的绿色制备开辟了新的思路。

B05-88

基于焊接花粉的太阳能蒸发器用于清洁水生产

汪梦广¹, 耿文敬¹, 陈成^{*1}

1. 安徽农业大学

摘要: 全球正面临水资源可用性与粮食供给之间的矛盾——农业灌溉消耗了全球绝大部分的淡水资源。受植物体内天然水分运输通道的启发, 研究人员开发出一种低成本、可焊接的花粉基太阳能蒸发器 (PSE), 用于从海水淡化中获取清洁水源。基于向日葵 (*Helianthus annuus*) 天然花粉的凸面折叠结构特征, 以及焊接花粉蒸发器互联网络的多孔结构特性, 该 PSE 在单日照条件下实现了 1.86 千克/平方米·小时的优异蒸发速率, 并在 7.0wt.% 盐度的海水中连续 10 次循环测试中表现出卓越性能, 未出现盐分累积现象。此外, PSE 具有优异的机械稳定性 (抗压强度达 3.44MPa), 在 pH 值为 1 和 14 的强酸强碱溶液中浸泡 24 小时后仍能保持结构完整性与机械性能。尤为重要的是, 实验证明该蒸发过程收集的淡水能有效促进生菜、水稻和小麦的培育生长。这些发现凸显了将花粉作为低成本、环境友好型天然资源应用于界面太阳能蒸发的实践价值, 更为解决全球水资源短缺问题和推动可持续农业发展提供了创新思路。

B05-89

重金属共存下老化 PBAT 微塑料对抗生素的吸附行为与机制研究

张欣¹, 于飞^{*1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学与生态环境学院, 上海市, 200120

2. 喀什大学土木工程学院, 喀什市, 844000

摘要: 水环境中微塑料 (MPs) 对有机污染物和重金属的复合吸附及其综合毒性效应日益受到关注。然而, 抗生素与重金属在微塑料表面行为中的联合作用机制尚未阐明。本研究聚焦于水溶液中四环素 (TC) 和环丙沙星 (CIP) 在老化聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯 (PBAT) 农膜衍生微塑料上的吸附行为。采用动力学、等温线和热力学模型系统分析了吸附过程, 并考察了离子强度、黄腐酸及共存重金属等关键环境因子的影响。结果表明: 吸附动力学符合准二级动力学模型和颗粒内扩散模型; 等温线拟合显示化学吸附是主导机制; 热力学参数揭示该过程为非自发吸热过程。环境因子研究表明: Cu^{2+} 和 Cr^{3+} 通过阳离子架桥效应显著促进抗生素吸附; 相反, Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 因竞争吸附表现出抑制作用。综合吸附模型与环境因子响应分析, 证实静电相互作用、离子交换、分子间氢键、卤素键等多种界面作用协同主导了吸附过程。本研究揭示了老化 PBAT-MPs 对抗生素-重金属复合污染的吸附机制与关键驱动因子, 为深入理解水环境微塑料的界

面行为、污染物迁移转化及风险评估提供了重要的理论依据。

B05-90

$\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 复合材料的制备及其在电容去离子中的应用

张非凡¹, 吕红映^{*2}

1 江苏省电子废弃物资源化重点实验室, 江苏理工学院资源与环境工程学院

2 江苏理工学院化学化工学院

摘要: 随着淡水资源日益紧张, 开发可持续的海水淡化技术变得尤为重要。电容去离子 (CDI) 技术具有较大潜力, 但在脱盐性能和循环稳定性方面仍存在一些挑战。本文提出了一种新型 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 复合材料, 用于提升混合电容去离子 (HCDI) 系统的盐分去除效率和稳定性。我们通过一种简便的中温煅烧法合成了 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 复合材料, 并基于该复合材料构建了 HCDI 系统, 使用 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 作为阳极, 活性炭作为阴极。通过一系列表征技术, 详细分析了 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 复合材料的微观结构、晶相和孔隙特性。实验结果表明, 在 1 M NaCl 溶液中, 电极在 1 A g^{-1} 电流密度下, 表现出 92.5 F g^{-1} 的比电容。 Bi_2O_3 的加入促进了可逆的氧化还原反应, 使氯离子能够在电解液实现选择性嵌入/脱嵌。在 1.2 V 的外加电压和 500 mg/L NaCl 浓度下, 该电极的盐分吸附容量达到 32.6 mg/g。此外, 经过 10 个充放电循环后, $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4//\text{AC}$ 电极仍保持了 91% 的吸附容量, 显示出良好的循环稳定性。这些结果表明, 具有赝电容特性的 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 复合材料在脱盐方面表现出优异性能, 展现了其在高效水处理中的应用潜力。

B05. 环境分离净化材料与技术

分会主席：邱介山、马杰、张增志、周宏建、于飞



邱介山

邱介山，北京化工大学教授、校学术委员会副主任、国家杰出青年科学基金获得者、教育部长江学者特聘教授、全国化工优秀科技工作者、全国高等学校优秀骨干教师、新世纪百千万工程国家级人选、国务院政府津贴专家、全国百篇优秀博士论文指导教师、北京化工大学“优秀教师”和“十佳教师”、北京市教育系统“教书育人先锋”、“科睿唯安”全球高引科学家(2018-2024，连续 7 年入选)及 Elsevier 中国高被引学者(2019-2024，连续 6 年入选)；入选 2024 年度 ScholarGPS 高排名学者全球前

0.05%顶尖科学家榜单，包括终身榜单（Highly Ranked Scholar-Lifetime; Overall(All fields)中国入选学者 285 位）和近五年（Highly Ranked Scholar -Prior 5 Years）榜单，在 Chemical Engineering(CE)学科领域终身影响力学者榜单中位居全球第 162 位，在“近 5 年”CE 领域学者榜单中位居全球第 23 位；担任国家重点研发计划项目首席科学家、石油和化工行业“新型碳基功能材料”重点实验室主任，荣获辽宁省优秀专家、辽宁省优秀科技工作者、大连市优秀专家、辽宁省青年科技奖、果壳网科学人第一届“全能导师奖”等奖励和表彰。主要从事煤基功能碳材料、材料化工和能源化工等领域研究，申请及授权 PCT/USA/中国发明专利 200 余件，多项技术实现规模化应用。



王海鹰

王海鹰，中南大学冶金与环境学院，博士生导师，教授，国家中组部“万人计划”科技创新领军人才，湖南省科技创新领军人才、国家重点研发计划项目首席科学家，美国佐治亚理工学院（GIT）访问学者。主要从事有色冶金过程重金属污染物深度净化新材料研制与产业化。现为国家可持续发展议程示范区（湖南郴州）专家咨询指导委员会委员、国家首批排污许可专家库专家以及中国有色金属产业技术创新战略联盟专家委员会委员等。

近年来主持国家固废资源化专项-重点研发计划项目（项目负责人，2020）、国家水资源高效开发利用专项-重点研发计划项目（课题负责人，2016）、国家科技支撑项目（课题负责人，2012 年）及国家自然科学基金面上项目等项目 10 余项。获国家技术奖发明二等奖（排名 5，2018）及湖南省自然科学一等奖（排名 2，2018）等省部级一等奖 9 项。任国际 SCI 期刊 Surfaces and Interfaces 编委，以第一发明人授权发明专利 34 项，在 Environ.Sci.Technol.、Appl.Catal.B-Environ.、Nano Letter 等环境、材料类权威期刊发表 SCI 论文 100 余篇，ESI 1%高被引 3 篇。



李健生

李健生，南京理工大学环境与生物工程学院院长，教授，博士生导师，江苏省“化工污染控制与资源化”高校优秀科技创新团队带头人，化工污染控制与资源化江苏省高校重点实验室主任，新型膜材料工信部重点实验室副主任。

主要从事污染控制与资源化领域的分离、吸附、催化技术研究。主持国家重点研发计划课题 1 项，国家自然科学基金面上项目 5 项。以第一或通讯作者发表 SCI 一区论文 66 篇，包括 *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Adv. Fun. Mater.*, *Environ.*

Sci. Technol., *Water Res.*, *J. Membrane Sci.*等十余篇代表性研究论文以及 *Chem.*

*Soc. Rev.*和 *Chem* 综述论文，6 篇内封面(底)论文，7 篇 ESI 高被引论文，2 篇

热点论文。SCI 引用 5200 余次，H 因子 38。授权美国专利 1 件，国家发明专利 11 件。研究成果获省部级科技奖励 5 项。



马杰

马杰，同济大学教授，博士生导师，中组部第十一批上海援疆干部，长期致力于电容去离子分离技术和应用研究，主持 4 项国家自然科学基金及多项省部级课题，在 *Nat. Water*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Nat. Commun.*, *Adv. Funct. Mater.*, *Nano Let.*, *Adv. Sci.*, *Small*, *Research*, *Water. Res.*, *Environ. Sci. Technol.*等期刊以第一/通讯作者发表 SCI 论文 200 余篇，ESI 高被引/热点论文 30 篇/次，论文总他引 13000 次 (WOS)，参编英文专著 3 部，授权中国发明专利 20 项。担任 *Sci. Rep.*、*Chinese*

Chem. Lett.、*Sustainable Horizons*、物理化学学报等期刊编委，*Nanomaterials*、

Frontiers in Environmental Science 客座编辑，新疆节能减排专家委员会学术委员会

副主任，新疆工程材料与结构重点实验室学术委员会委员，中国化学会高级会员、中国有色金属学会环境保护学术委员会委员等，入选“上海市东方英才计划拔尖项目”，“上海市人才发展基金”、同济大学“中青年科技领军人才”和“百人计划”等，获上海市自然科学二等奖 (1/5)，河南省自然科学奖三等奖、中国化工学会基础研究成果奖二等奖等，2016-2019 连续四年荣获 Publons 环境与生态及交叉学科领域“顶级审稿专家”荣誉，担任中国环境科学学会年会《环境修复材料》分会主席，中国材料大会《环境分离净化材料与技术》分会主席，2020-2024 年连续五年入选斯坦福大学发布的“全球前 2% 顶尖科学家榜单”，入选“高被引科学家”和“中国高被引学者”。



潘丽坤

潘丽坤，华东师范大学物理与电子科学学院、上海市磁共振重点实验室教授、博导。科睿唯安全球高被引科学家，爱思唯尔中国高被引学者，全球前 2% 顶尖科学家（斯坦福大学）。目前研究方向为新能源材料及应用、人工智能机器学习。作为项目负责人主持了国家自然科学基金面上项目、上海市基础研究重点项目、上海市产业技术创新专项重大项目、上海市纳米专项、上海市国内科技合作项目、上海市自然科学基金和上海市应用材料研究与发展基金等多个项目。已在国际期刊上发表 SCI 论文 400 余篇(40 多篇入选 ESI 高被引论文)，其中第一/通讯作者 SCI 论文 300 余篇，被引用 35000 多次，H 指数 109（谷歌学术）。主编 3 本英文著作。授权了中国发明专利 30 余项。

作为负责人主持了国家自然科学基金面上项目、上海市基础研究重点项目、上海市自然科学基金、上海市纳米专项、上海市应用材料研究与发展基金、上海市国内科技合作项目和上海市浦江人才计划等多个项目。



刘建允

刘建允，东华大学环境科学与工程学院教授，2001 年获中科院长春应用化学研究所博士学位。2002-2005 年德国马普高分子研究所从事博士后研究工作。2006-2010 年就职于美国通用电气公司全球(上海)研发中心。2010 年至今，获聘东华大学教授。2016-2017 年于英国牛津大学访学交流。近年来致力于电分析化学、纳米材料电化学、水环境污染物检测与治理等领域的教学与科研工作。所指导学生多人获研究生国家奖学金、研究生优秀学位论文、国家大学生节能减排、

挑战杯竞赛奖等荣誉。并连续多年被评为东华大学研究生优秀指导教师。在 Carbon,

J. Mater. Chem. A, Appl. Mater. Today, Chem. Eng. J., Anal. Chem., Desalination,

Electrochim. Acta, Chem. Euro. J., 等国际学术刊物上发表 SCI 论文 70 余篇。申请发明专利 20 余项，其中获授权美国及中国专利 15 项。

研究方向为环境电(光)分析化学；新型纳米材料及环境修复；电化学电容器及电容去离子。



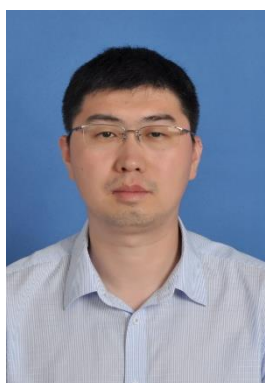
徐兴涛

徐兴涛，浙江海洋大学教授，博士生导师。入选英国皇家化学会（RSC）高被引作者、日本学术振兴会（JSPS）Fellow、全球前 2% 顶尖科学家年度科学影响力榜单（2020-2023）等。美国化学会、国际水协会（IWA）、中国化学会、中国水利学会会员、SusMat、Carbon Energy、CCL、Electrochim Acta、Environ Res 等期刊副编辑、客座编辑、青年编委等。长期从事海洋化学与资源绿色高值利用的基础研究，在 Chem Rev、JACS、Angew Chem、EES、Adv Mater 等期刊发

表学术论文 160 余篇，当期入选 ESI 高被引论文 46 篇，被引用超过 12000 次，H

指数 70。受邀撰写英文专著《Capacitive Deionization》，另外参与撰写英文专著 2

部。主持及参与日本科学振兴机构 ERATO 计划、国家自然科学基金项目、日本学术振兴会研究员项目等。



周宏建

周宏建，中国科学院合肥物质科学研究院研究员，硕士生导师，固体所环境与能源纳米材料中心副主任。2014 年毕业于韩国釜山国立大学，获得博士学位，并荣获国家优秀自费留学生奖学金及韩国釜山国立大学学术奖。2015 年以海外人才引进到中国科学院合肥物质科学研究院，入选了第五批安徽省高层次人才计划，安徽省特聘专家称号，安徽省“115”产业创新团队，中科院特聘骨干，以及合肥市高层次人才等。担任《无机盐工业》期刊青年编委，《Nanomaterials》期刊客座编辑，国家自然科学基金委评议专家，ACS、RSC、Elsevier 等杂志社所属 80 个国内外 SCI 杂志的特邀审稿专家。主要从事多功能纳米复合材料制备、电化学水处理技术及其在高值资源提取与利用的应用拓展工作。针对饮用水净化、海水淡化、和盐湖高值资源提取等领域的需求，从电极材料、电化学吸附机制、器件结构设计和 CDI 集成装置与应用示范四个方面开展了大量的、系统性工作，尤其是盐湖提锂方面的工作，具有非常好的应用前景。主持承担了包括科技部国家重点研发计划课题，国家自然科学基金项目，合肥大科学中心项目，安徽省重点研发计划，企业横向项目等。

**陈文清**

陈文清，四川大学建筑与环境学院教授、博士生导师、四川省学术技术带头人后备人选、四川大学引进人才、川大-日立环境应用技术研究中心主任、四川省环境保护土壤环境保护工程中心主任。主要致力于水体及土壤污染评估与生态修复技术、水处理材料及应用技术研究。主持承担了部省级及国际合作项目等百余项，以第一作者或通讯作者共计发表期刊论文共计 130 余篇，申请专利 20 余项。主要研究领域：污染水体评估与生态修复技术；污染土壤评估与生

态修复技术；环境功能材料研制及应用技术研究；固体废物资源化技术研究。

主持的代表性的科研项目：国家重点研发计划 2018YFD0800604，川渝丘陵平原区农田镉污染修复技术集成与示范-镉污染土壤间作修复技术优化和示范、科技厅重大科技专项 2018SZDZX0028-3，成都平原工业聚集区农田重金属综合防治技术集成与示范、科技部国际科技合作计划 2011DFA50430-002，高性能纤维型环保材料的开发及应用等。

**马金星**

马金星，现任广东工业大学生态环境与资源学院副院长、教授、博士生导师，担任学院教职工第一党支部书记。主要从事污水再生与安全利用保障研究。他自 2019 年起连续入选'全球前 2% 顶尖科学家'榜单，主持国家级及省级科研项目多项，发表 SCI 期刊论文 130 余篇（其中 7 篇入选 ESI 高被引或热点文章），获授权发明专利 20 余项。2023 年获第二十五届广东青年五四奖章，并担任联合国气候变化大会"世界视野"大陆地区志愿者总负责人。指导学生获国家级高层次青年人才称号及多项省级以上竞赛奖项。国家优秀青年科学基金项目（海外）、广东省自然科学杰出青年基金项目获得者；荣

获第二十五届广东青年五四奖章、环境保护技术发明二等奖、ES&T 2023、ACS ES&T Engineering 2022 年度卓越审稿人奖。

**邓立波**

邓立波，深圳大学副教授（特聘研究员），博士生导师，深圳大学优秀青年教师，深圳市海外高层次人才 B 类。研究方向为新型碳纳米材料在电化学能源存储与转化及环境领域的应用，2019-2022 年连续入选全球前 2% 科学家榜单。课题组致力于以生物质为原料制备新型碳纳米材料并研究其在电化学能源存储与转化（超级电容器、锂电池、钠电池、电催化氧还原、钙钛矿太阳能电池、染料敏化太阳能电池）、水体有机物吸附、海水淡化（电容去离子）等领域中的应用。这些研究课题的意义包括：（1）生物质中的部分天然高分子具有良好的石墨化能力，大部分生物质来源广泛、价格低廉，将这些生物质碳化不仅可以将廉价废弃物高值化利用，更可以解决环境污染问题（生物质中含有的木质素是目前水体有机物污染物中最大的来源）（2）生物质在一定催化剂作用下可以转化成多种形式的新型碳材料（碳纳米薄片，石墨烯，碳纳米纤维等），是碳素家族中重要的一大类，很多科学问题有待探索。（3）多孔碳材料具有广阔的化学改性及形貌、微观结构调控空间，具有良好的应用前景。

**于飞**

于飞，上海海洋大学教授，爱思唯尔“中国高被引学者”，巴塞尔公约亚太区域中心化学品和废物环境管理智库专家（No. 00698），新加坡维泽材料科学专家委员会成员，《环境科学与工程》期刊编委，《材料导报》编审专家，国家科技部科技专家库/上海市科学技术奖专家库专家、河南省科技专家库成员，学术桥评审专家库成员（2023-2026）全国环境监理工程师。2018 年获得上海市人才发展资金资助，2014 年上海市“优秀博士论文”获得者，主要从事新污染物污染控制与资源化研究。主持国家自然科学基金项目面上项目、青年基金等各类项目十余项，发表学术论文

100 余篇，累计总引用 1.2 万余次，累积 21 篇论文入选 ESI 高被引/热点论文，授权专利 8 项，国内外学术会议作邀请报告。2023-2024 连续两年入选“全球前 2% 顶尖科学家终身科学影响力排行榜”。