

中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

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

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.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、于飞、周宏建

B05-01

待定

侯立安^{1*}

1. 中国人民解放军 96911 部队

B05-02**中空结构 MOFs 衍生单原子催化剂及其电催化 CO₂ 性能研究**吴玉程^{1*}, 周伟¹, 崔接武¹

1. 合肥工业大学材料科学与工程学院

摘要：单原子催化剂具有原子利用率高、催化活性高与选择性优异等特点，被广泛应用于电催化 CO₂ 还原^[1]。通过调控单原子催化剂的配位环境来实现高 CO 选择性与活性是构筑高效 CO₂ 还原催化剂最为常见的策略^[2]。除此之外，还可以通过优化材料的结构来提升电化学性能：包括活性位点、电荷传输、物质传输路径以及稳定性。该项工作主要系统地研究了碳基载体的结构调控以及配位环境的调控对电催化 CO₂ 还原生成 CO 性能的影响。首先，基于次序模板法结合溶剂辅助配体交换策略，结合高温热解工艺，制备了一系列高 CO 选择性的氮掺杂碳纳米管负载 Ni 单原子催化剂。结果表明，优化的中空双壳层碳纳米管负载 Ni 单原子催化剂在 -0.7 V vs. RHE 时 CO 的法拉第效率高达 91.86%，CO 局部电流密度在 -1.2 V vs. RHE 时为 -29.33 mA cm⁻²。之后，为了进一步验证双壳层结构的碳基载体在电催化 CO₂ 还原过程中的独特优势，利用同一策略制备了一系列高 CO 选择性的碳纳米颗粒负载 Ni 单原子催化剂。结果表明，优化的双壳层碳纳米颗粒负载 Ni 单原子催化剂在 -0.6~-0.9 V vs. RHE 的电位范围内表现出 >85% 的 CO 选择性，其中在 -0.8 V vs. RHE 时法拉第效率为 96.99%，在 -1.1 V vs. RHE 时 CO 局部电流密度达到 -31.61 mA cm⁻²。

最后，在中空双壳层氮掺杂碳纳米颗粒负载 Ni 单原子催化剂的基础上，通过引入异质金属 Fe、Co、Cu 调控双金属单原子对的配位环境，探究不同配位环境对电催化 CO₂ 还原性能的影响。结果表明，优化的氮掺杂双壳层碳纳米颗粒负载 NiCu 双金属单原子催化剂具备更宽的电位窗口，在 -1.2 V vs. RHE 时法拉第效率为 88.27%，在 -1.6 V vs. RHE 时总电流密度为 -52.77 mA cm⁻²。

参考文献

- [1] Li M, Wang H, Luo W, et al. *Advanced Materials*, 2020, 32: 2001848.
- [2] Fei H, Dong J, Feng Y, et al. *Nature Catalysis*, 2018, 63-72.

B05-03**单原子催化电芬顿研究进展与应用展望**全燮^{1*}

1. 大连理工大学

B05-04**纳米功能材料促进微生物胞外电子传递效能与机制**冯玉杰^{1*}, 李健楠¹, 李增¹

1. 哈尔滨工业大学

摘要：相对于传统的物理法、化学法和生物法修复受损地表水体技术，生物-生态修复技术具有水体/底泥可同步修复、能耗低、持续作用时间长、环境友好等优势，是水体修复的首选技术。该修复技术效果和系统性能受限于功能微生物胞外电子传递过程，尤其是将该技术与电化学技术耦合建立的沉积物微生物电化学系统的效能更是受限于微生物胞外电子传递过程影响。本团队经过多年研究，聚焦微生物电子传递

效率的提升，建立了解决这一问题的多种技术途径，阐明了微生物电子传递机制。

本报告分别从功能微生物电子传递机制入手，系统总结了本团队研发的铁基和碳基两类材料。铁基材料包括纳米铁氧化学、纳米硫化铁以及卟啉铁、肽精铁等铁系材料，研究表明在铁系材料存在时，微生物功效富集是自然选择的结果，含铁的材料起到了对微生物的“虹吸”的作用。本报告涉及的碳基材料包括碳量子点、碳纳米管、Biochar 等功能性碳材料，纳米碳材料在适宜的比例下，可以与微生物呼吸链相互作用，提高了微生物电子传递效率，提高了系统库伦效率。研究还表明碳材料的导电率并不是影响电子传递的最关键因素，碳基材料的表明官能团结构对微生物电子传递也起到重要作用。

本报告还报道了铁基、碳基纳米材料修饰电极材料及其规模化制备方法，以及本团队完成的世界首例地表水体修复示范工程的运行情况。

与以往利用纳米材料进行吸附、催化氧化等不同，本研究利用纳米材料对微生物电子传递进行调控，进而提高生物-生态修复系统的效能，为纳米材料强化地表水原位修复提供了一新范式，展现了巨大的应用潜力。

B05-05

插层结构超稳矿化材料的组装及对重金属离子污染的治理研究

林彦军^{1,2*}, 孔会民^{1,3}, 曹雨微^{1,3}, 李凯涛¹, 孔祥贵¹

1. 北京化工大学

2. 青海大学

3. 西部矿业集团有限公司

摘要: 针对土壤和废水等环境中重金属污染问题，北京化工大学化工资源有效利用国家重点实验室提出了“超稳矿化结构”的思想，发展了系列插层结构超稳矿化材料，基于同晶取代策略将重金属离子锚定在 LDHs 晶格中，形成具有极低溶解度的矿化态，从而大幅降低游离态重金属离子的平衡浓度，抑制重金属污染物的溶解性和移动性，实现了对 Cd、Pd、As、Cu 等多种重金属离子的原位超稳矿化，矿化量分别可达 1322.0 mg/g、693.8 mg/g、130.36 mg/g 和 662 mg/g 以上。进一步发展了原子经济反应清洁生产工艺，突破了蒸氨液联用水热晶化、超声强化生长与二维形貌控制等系列关键技术，建成了 1 套 2 万吨/年的产业化示范装置，实现了材料的工业化生产，同时还实现了盐湖地区蒸氨废液的资源化利用。产品在重金属污染农田、工业废水和矿坑涌水等领域实现了大规模应用，使土壤中重金属离子的有效态固定率达 56% 以上、废水中重金属去除率达 99% 以上，实现了粮食达标生产和废水达标排放。

B05-06

纳米 MOF 及其衍生物

庞欢^{1*}

1. 扬州大学

摘要: 近年来，团队聚焦纳米配合物及其衍生物的合成、功能应用研究，尤其在纳米金属有机框架(MOF)的电化学方面。纳米配合物的组成、形貌尺寸、多孔性、导电性与稳定性等因素严重影响其功能化应用。由配合物晶体合成方法出发，发展引入表面活性剂、超声剥离、水热合成等方法可控制备各种配合物框架微纳米材料，实现材料形貌尺寸、多孔性、导电性、稳定性的精准调控，使其具有良好的功能应用[1]。研究发现：1) 配合物纳米晶体与金属氧化物复合后，材料具有丰富的多孔性、良好的稳定性与导电性，在电化学储能中具有优异的表现；以配合物框架纳米晶体为模板煅烧制备的多孔金属氧化物、多孔碳材料、杂原子(氮、磷、硫)掺杂材料，具有优异电化学特性[2]；2) 配合物框架材料微纳化后产生小尺寸效应、晶面取向生长，形成各向异性的配合物纳米晶体、表面缺陷或不饱和配位，使得在电化学反应过程中离子迁移路径缩短、出现对客体选择性催化、催化活性位点增强、增多现象[3]。

参考文献

[1] Y. Su, J. Hu, G. Yuan, et al., *Advanced Materials*, 2023, 35, 2307003.

[2] Y. Sun, H. Ji, Y. Sun, et al., *Angewandte Chemie-International Edition*, 2024, 63, e202316973.

[3] S. Cao, Y. Li, Y. Tang, et al., *Advanced Materials*, 2023, 35, 2301011.

B05-07

电容去离子用普鲁士蓝类似物电极的脱盐性能提升策略

汪仕勇^{1*}, 王刚¹

1. 东莞理工学院生态环境与建筑工程学院

摘要: 普鲁士蓝类似物 (PBAs) 电极因具有大的离子扩散通道、结构可设计性和氧化还原电位可调特性等优势被认为是电容去离子 (CDI) 电极材料的理想竞争者。然而, 受限于其固有缺点, PBAs 电极仍然面临着脱盐容量低和稳定性差等问题。基于此背景, 分别通过复合物、最小空位和熵工程策略, 制备了多种普鲁士蓝类似物 (PBAs) 电极, 用于 CDI 电极。基于 PBAs 电极的法拉第脱盐效应, 所制备的材料具有较高的脱盐量和优异的循环再生性能。

关键词: 电容去离子; 普鲁士蓝类似物电极; 脱盐性能

参考文献

[1] Wang, S., Wang, G., Wang, Y., et al. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2020, 12, (39), 44049-44057.

[2] Wang, S., Li, Z., Wang, G., et al. *ACS Nano*, 2022, 16, 1, 1239-1249.

[3] Wang, S., Pan, Z., Li, Z., et al. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 466, 143163.

B05-08

仿生超浸润油水分离材料

李健^{1*}

1. 西北师范大学

摘要: 日益增长的含油废水正在加速生态破坏和加剧水资源短缺。深度处理含油废水并进行资源化利用已成为国家乃至世界的重大需求, 对保护生态环境和解决水资源短缺具有重要意义。受自然界沙漠甲虫“雾中集水”性能启发, 构建了一种具有“水中集油”性能的 ZIF-8/PAN 分离膜, 该膜由凸起的疏水/亲油颗粒和底层的水下超疏油材料组成。在分离水包油乳液时, 凸起的疏水/亲油颗粒能够实现“水中集油”而破乳, 底层的水下超疏油膜则对乳液起到筛分作用, 在二者的协同作用下突破了传统水下超疏油膜分离效率和通量之间的“Trade-off”效应, 在提高油水乳液分离效率的同时提升了分离通量, 实现了水包油乳液甚至水包原油乳液的高效和高通量分离。在此基础上, 揭示了该分离膜“捕获-聚集-分离”的强化分离机理。此外, 针对膜法含油废水处理技术面临的膜污染问题, 通过膜表面亲水化创建水合层防御屏障以抑制油滴对膜的污染。利用 MOF 颗粒插层 MXene 纳米片构筑多级稳定的水合层, 实现了 PEG/MXene@MOF 复合膜抗污染性能的强化和高通量长期稳定运行。一方面, MOF 颗粒优异的吸水性和保水性能使膜表面和插层的水合层更加稳定, 从而赋予膜优异的抗污染性能。另一方面, MOF 颗粒不仅扩大了 MXene 纳米片的层间距, 提升了渗透通量, 而且插层的 MOF 颗粒能够对 MXene 纳米片起到支撑作用, 避免了膜表面的高法向流速对膜层间距的挤压, 实现了复合膜的长期稳定运行。该研究为抗污染性强和运行稳定的高渗透性油水分离膜材料的研制提供了新思路。

B05-09

板栗内壳基生物炭的调控及其在电容去离子技术中的应用

汪洋^{1*}, 李玉琪¹, 王长林¹, 邓丁飞¹

1. 天津大学

摘要: 电容去离子是一种很有前景的苦咸水淡化方法, 目前的脱盐能力和脱盐速率限制了其广泛应用。生物炭材料是一种成本低廉、性能优异的电容去离子材料。本研究首先通过 KOH 对板栗内壳生物物质进行

碳化和活化，合成了一种具有快速离子传输的层状活性炭。通过结构表征和电化学测试，研究了碳化温度和 KOH 比例的影响。在 500 °C 下获得的生物炭(CS500)表现出最高的比表面积($1943.2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$)和更多的含氧官能团，CS500 带来了优异的电容(127.2 F g^{-1} , 5 mV s^{-1})和较小的内阻。此外，CS500 在 NaCl (0.5 g L^{-1})和 CaCl_2 (0.95 g L^{-1}) 中实现了 $5.7 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 的平均盐吸附速率，分别具有 17.7 mg g^{-1} 和 21.0 mg g^{-1} 的高盐吸附容量。此外，CS500 在 Na^+ 和 Ca^{2+} 的混合溶液中显示出对 Ca^{2+} 的优先吸附，这表明其具有软化硬水的潜力。最后，CS500 在 50 次吸附/解吸循环中保持了高循环稳定性 (87.0%, 1.2 V)。

在此基础上，本研究利用不同的活化机制来调节板栗内壳基生物炭的孔径分布，并探索了孔结构在电容去离子中的作用。微孔生物炭 (MiB) 的比电容可达 319.1 F/g (0.2 A/g)，含氧量高，而介孔生物炭 (MeB) 的比容仅为 170.4 F/g ，电荷转移阻抗小。基于不同的孔径分布特性设计了 MeB//MiB 不对称脱盐结构，与 MiB//MiB (15.72 mg/g) 和 MeB//MeB (6.07 mg/g) 相比，在 1.2V 下表现出 17.04 mg/g 的更高的盐吸附能力，50 次循环后的稳定性为 81%。这些能力可归因于 MiB 的高离子存储能力以及 MeB 的快速离子传输能力。在 MeB//MiB 中阳极的氧/碳比仅增加了 42%，而在 MiB//MiB 中增加了 370%，证实了不对称结构的氧化抑制能力和 MeB 的抗氧化性。

此外，通过 N、S 单元素掺杂板栗内壳基生物炭制备了具有高比表面积和优异电化学性能的生物炭材料。元素掺杂极大提高了生物炭的比容量，在 0.2 A g^{-1} 的电流密度下，未改性生物炭比容量仅为 139.7 F g^{-1} ，而氮掺杂生物炭比容量高达 202.3 F g^{-1} ，硫掺杂生物炭比容量也达到 163.5 F g^{-1} 。同时，N、S 单元素掺杂降低了生物炭电极的电化学阻抗，提高了其电极反应动力学。通过将零电荷电位和阴阳极电压分布匹配，构建了不对称 CDI 结构，扩大了实际的离子吸附电压窗口，增强了脱盐能力。在 500 mg L^{-1} 的 NaCl 溶液中，不对称 CDI 结构在 1.2 V 的电压下实现了 14.4 mg g^{-1} 的脱盐量，50 次循环后的总脱盐量达到了 545.8 mg g^{-1} ，比未经改性的对称 CDI 结构高出 19.7%，表现出良好的循环稳定性。

通过界面工程制备了 N、S 元素共掺杂生物炭 (NSCS600)，实现了优异的 Zn^{2+} 选择性吸附。NSCS600 微观形貌为蓬松海绵状，微孔、介孔以及大孔均匀分布并相互贯穿，具有丰富的离子吸附表面积。NSCS600 含有大量的碎片化石墨结构，能够增强材料的电子传递能力，同时具有较高比例的缺陷结构，为离子吸附提供大量的活性位点。在 ZnCl_2 溶液中 NSCS600 的比容量达到了 177.38 F g^{-1} ，电荷转移阻抗约为 0.1Ω 。相比未经改性的生物炭 (CS600)，在单一 ZnCl_2 溶液中，NSCS600 对 Zn^{2+} 的吸附量是 CS600 的 2.2 倍。在 $\text{Na}^+/\text{Zn}^{2+}$ 混合溶液中 (摩尔比为 1:1)，NSCS600 的 Zn^{2+} 吸附量达到了 $782.6 \mu\text{mol g}^{-1}$ ，选择性系数 β 为 5.2；而在摩尔比为 3:1 的混合溶液中，NSCS600 的 Zn^{2+} 吸附量为 $706.4 \mu\text{mol g}^{-1}$ ， β 值高达 14.9。通过原位拉曼技术和密度泛函理论揭示了缺陷和 N、S 官能团在 Zn^{2+} 吸附过程中的协同作用，利用 XPS 分析了吸附前后 NSCS600 的官能团状态，吡啶 N 和磺酸基能够对 Zn^{2+} 产生特异性的吸附，从而增强了生物炭的 Zn^{2+} 选择性。

B05-10

测试汇平台助力环境科学研究：经典案例分享

张浩轩^{1*}

1. 测试汇平台

摘要：测试汇致力于为广大科研工作者提供准确严谨且快速高效的表征测试服务，通过建立“销售-技术-工程师”三级 workflow 梯队，全面保障客户“前-中-后”全测试周期服务体验。本报告聚焦于测试汇在环境科学方面的服务经历，通过分享多元化客户需求（如涉及形貌表征、谱学分析、模拟计算、绘图设计等方面）对应的经典案例以及围绕自营设备所进行的内部研究项目，具体展现平台已有的技术能力和运行模式。

B05-11

电场强化成型碳治理废水

曹永海^{1*}，余皓¹，王红娟¹，王浩帆¹

1. 华南理工大学

摘要：工业废水污染物的去除是环境治理中极具挑战的内容，具有重要现实意义，也是目前学术界的研究重点。成型碳材料（碳海绵、石墨烯气凝胶、介孔碳等）作为一类具备工业应用前景的材料，以高疏水性、高比表面积、高孔隙率及良好的化学稳定性，在水处理领域具有广阔的应用前景。结合近年来备受瞩目的电吸附技术，以成型碳材料为基础的污水治理技术成为了一种新的选择。本团队在过去几年尝试以成型碳材料为基础，通过设计穿透式装置辅以电场强化作用，达到吸附金属离子、还原变价离子、催化降解有机污染物等多个不同应用目标。本次报告将围绕上述目标进行阐述。

参考文献

- [1] Wang, B., Jiang, Q., Yang, G., et al., *Advanced Science*, 2023, 10(21): 2301419.
- [2] Chen, S., Huang, K., Wang, H.-F., et al., *Chemical Engineering Journal*, 2024, 490: 151835.
- [3] Jiang, M., Huang, J., Yang, G., et al., *Separation and Purification Technology*, 2023, 314: 123542.

B05-12

电池去离子电极驱动阴离子选择性去除与分离

杨松鹤¹，刘珊¹，陈洪^{1*}

1. 南方科技大学

摘要：以电能驱动的电池去离子（BDI）技术，存在选择性高、容量大等特点，近年来受到人们的广泛关注。电池去离子电极材料的开发，成为制约电池去离子技术发展的关键。本项目基于传统无机化学与电化学的基本认识，发展了多种基于法拉第电化学相转换机制的电池去离子电极材料，并考察了其在实际废水中对典型阴离子选择性吸附去除的容量，详细阐明了其原位和异位反应机制，为阴离子选择性吸附和去除，提供了新的思路。

B05-13

有机材料的结构设计及其电容去离子性能研究

施敏杰^{1*}，陶月姮¹，崔雨杰¹，汪厚祥¹，张佩佩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。

B05-14

二维纳米通道膜离子限域传输与精准分离

王璿^{1*}

1. 西安建筑科技大学

摘要：由二维纳米材料的层层平行堆叠构建而成的纳米通道膜，因其独特的离子限域传输与分离特性，近年来受到研究者的广泛关注。在不同尺寸、价态离子分离方面，本研究通过在二维纳米通道内引入柱撑水凝胶结构，解决了二维层状膜普遍存在的因溶液中离子插层而出现的结构不稳定性问题，并证明了离子与偶极水分子之间的相互作用对离子传输过程的重要影响，即单价离子由于其更低的水合自由能，可通过其表面“柔软”的水合层的脱落而进入通道并完成快速传输。离子的脱水合传输机制为设计用于盐湖提锂的高

效 $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}$ 分离膜提供了重要理论支撑。在不同电极性离子分离方面, 本文证明了限域空间内双电层深度重叠对阴、阳离子选择性的重要影响, 并开发了具有同晶替换结构的负电性二维蛭石纳米通道膜, 减缓了实际高盐水质条件下因电荷屏蔽作用增强而导致的阳离子选择性降低, 同时设计“微孔+纳米通道”多级分离系统, 显著提升了纳米通道出、入口的实际有效浓度梯度, 强化了离子传输驱动力。高阳离子选择性促成了高效的盐差能回收, 采用盐湖化工企业的实际高盐废液进行验证, 盐差发电最高输出功率密度达到 26 W/m^2 , 超过商业基准的 5 W/m^2 。此外, 利用二维 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 、MOF、 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ 独特的光学特性, 实现了光热/电协同驱动下离子在纳米通道内的高效光响应传输, 证明了光能与离子能向电能转化的可能性。本研究为海水、盐湖卤水和工业高盐废水等资源化、能源化利用提供了新的启示。

B05-15

废弃塑料基复合材料的制备及其在卤素离子去除中的应用研究

于飞^{1*}

1. 上海海洋大学

摘要: 塑料的轻便性、抗腐蚀性和绝缘等优异性能使其在包装、电子、交通和医疗等行业广泛应用, 然而大多数塑料在自然环境中长时间存在, 降解非常缓慢。据经济合作与发展组织统计 2019 年, 有 22% 的废弃塑料得不到妥善处理而被遗弃在自然环境中, 对生态系统造成严重威胁, 同时环境中残留的塑料会进一步风化形成微/纳塑料, 从而进入食物链中, 严重危害人类身体健康。塑料中碳元素含量较高, 采用焚烧或填埋处理或快或慢的释放 CO_2 , 进而影响全球气候变化。因此如何将废弃塑料资源化和高值化是目前重要的前沿科学研究。鉴于塑料中碳原子的丰度, 近年来废塑料衍生合成高值碳材料成为研究热点, 衍生中通过添加催化剂的类型, 调控衍生工艺和技术可以有效提升塑料衍生碳的比表面积及导电性, 在电化学中具有广泛的应用前景。针对塑料衍生碳原子结构重排, 提升其石墨化程度的关键科学问题, 研究了塑料衍生碳的理化性质和原位催化碳化过程的反应机理, 并将其作为电极材料应用于膜电容去离子 (MCDI) 单元中, 针对其脱氯性能开展研究, 探究了其去除钠/氯离子电化学脱除性能和作用机制。

B05-16

非对称浸润性三维 Janus 纤维素气凝胶的可控构建及其油水分离性能

卢凌彬^{1*}

1. 海南大学

摘要: 工业和城市废水, 特别是油性污染物的肆意排放加剧了水生态环境。Janus 材料具有独特的不对称润湿性, 被认为是油水分离材料最具潜力的候选者。本研究中我们基于相似相自组装策略, 开发了具有非对称润湿性的三维 Janus 纤维素气凝胶, 建立了可控构建新方法。值得注意的是, 非对称结构的比例可以通过调节疏水/亲水层的厚度来控制。三维 Janus 纤维素气凝胶同时具有超亲水/亲油和超疏水/亲油的纤维素骨架结构。该气凝胶对油的吸附能力高达 34.38 g/g , 仅在重力驱动下, 甚至在表面活性剂稳定的乳液下, 就能有效分离各种油水混合物和水包油乳液。在高分离通量条件下, 分离效率可达 99% 以上。有效地避免了膜分离领域中的“trade-off”效应。三维 Janus 纤维素气凝胶具有良好的稳定性和可回收性。本研究对其破乳分离机理进行了详细分析。这项工作不仅为构建可控的三维不对称可湿性 Janus 材料提供了一种环保、简便、灵活的方法, 而且为理解和发展三维 Janus 材料的分离机理提供了科学的途径。

B05-17

生物炭基 La-Ce 双离子交联 SA 杂化气凝胶对水体中氟的有效去除和吸附机理

李北罡^{1,2*}, 周雪英^{1,2}, 赵倩格^{1,2}

1. 内蒙古师范大学

2. 内蒙古自治区环境化学重点实验室

摘要：为制得高效环保、可回收再利用的宏观颗粒吸附材料，解决传统粉末吸附剂固/液难分离、易损耗及吸附容量不足等问题，本研究以农业固废秸秆生物炭（BC）为基质，结合海洋资源丰富的天然有机物海藻酸钠（Sodium alginate, SA）采用液滴聚合法通过稀土 La(III)-Ce(III)双离子交联聚合成功制得了一种新型生态友好型 Ce-SA-La/BC 杂化气凝胶，用于含氟废水中氟的吸附研究，详细考察了一些关键吸附条件的影响，结合吸附动力学和吸附热力学研究及材料表征评估了杂化气凝胶的吸附性能，探究了吸附机理。结果发现所合成的 Ce-SA-La/BC 是一种粒径约为 1.8 mm、表面凹凸不平、沟纹纵横交错和孔隙丰富的三维网状结构黑色颗粒。Ce-SA-La/BC 杂化气凝胶在 25°C 下对 F⁻离子的吸附 200min 内即达平衡，在溶液 pH 为 2.0 时的去除率达到 90.2%。吸附性质和吸附行为均可用 Langmuir 等温模型进行很好地解释，最大吸附容量可达 129 mg/g；Ce-SA-La/BC 对 F⁻离子的整个吸附过程能用拟二级吸附速率方程准确描述，吸附反应为自发、混乱度增大的吸热吸附。通过对吸附 F⁻离子前后 Ce-SA-La/BC 杂化气凝胶的 FT-IR、UV-vis 和 XPS 进行分析和表面电性测试，结果说明杂化气凝胶主要通过静电吸附、氢键作用和表面络合反应及微孔填充等多种方式实现了对含氟废水中氟的有效去除。所得新材料 Ce-SA-La/BC 不仅合成方法简单、性价比高和生态环保，吸附性能高，而且在吸附完成后可利用自身的宏观颗粒性实现与水体的完全分离和回收再利用，无损耗和二次污染的发生，同时实现了减碳降污，因此是一种极具发展潜力和应用前景的生物吸附材料。

B05-18

电容去离子技术：实现高效资源化废水处理

陈文清^{1*}

1. 四川大学建筑与环境学院

摘要：根据我国生态环境部公开的《中国生态环境状况公报》（2017-2021 年）统计，我国污水排放量逐年上升，污水中总氮、总磷含量将分别达到 204.6 万吨及 38 万吨。同时 2017 年联合国水务发展报告指出，人类生产生活产生的 80% 以上的废水，在未经处理的情况下就被排放到外界，对水环境安全造成了重大影响。

长期以来，氮磷污染一直是限制我国水环境质量提升的关键因素。与传统化学沉淀和吸附法相比，电容去离子（CDI）技术作为一种新兴的电驱动技术，通过施加低电压产生电场从而去除水体内的氮、磷等污染物，并通过浓缩实现资源化回收利用，在水处理行业显示出巨大的应用潜力。本次汇报将主要包含以下 3 个部分。1. 详细介绍了当前污水氮磷污染与资源化浪费的现状，揭示出氮磷资源化利用的重要性和紧迫性。2. 从 CDI 技术的发展历程及应用领域、CDI 脱氮除磷研发策略、国内 CDI 技术研发团队等方面对 CDI 技术做了详细的介绍。3. 介绍了课题组在 CDI 脱氮除磷方面所做的相关工作，主要包括通过孔径调控、表面改性等技术手段，提高氮磷的吸附容量和选择吸附性能。

B05-19

界面双位点调控及硝酸盐电催化绿色还原

杨建平^{1*}

1. 东华大学

摘要：硝酸盐电催化还原技术能有效解决水体中高浓度硝酸盐的污染问题，并可将产物转化为无污染的氮气和具有资源化意义的铵，是目前电催化领域研究的热点。近年来，经研究成果表明，电催化 NO₃RR 是现有技术中最有发展前景的方法之一。在众多贵金属和非贵金属催化剂材料中，铁基纳米催化剂因其无毒、可获得性广、成本低等优点，而成为一种很有前途的电催化 NO₃RR 材料。从环境角度来看，将 NO₃⁻转化为良性 N₂ 具有成本低、效率高、环境友好诸多优点。但还原过程涉及到众多中间体和各种反应步骤的多电子转移反应，单一物种催化材料难以对反应活性和反应路径进行调控。基于此，我们团队近年来致力于铁基电催化 NO₃RR 为 N₂ 做出了一些针对性工作，针对于铁含量低、效率低、易于腐蚀、铁基电催化剂稳定性差的问题，我们提出了有机配体自组装策略、铁-碳纳米纤维组装策略、石墨烯铠甲包覆铁颗粒结构、

Fe-N 界面调控结构等, 催化剂表现了超过 90% 的 N_2 选择性, 优异的耐酸耐碱特性, 且循环 40 次以后, 依旧保持高活性和选择性, 去除保持率高达 90%[1-3]。针对铁基双金属电催化剂表现出卓越的硝酸盐(NO_3^-)电化学还原反应活性, 但传统的制备策略复杂耗时, 而且该反应的动力学机制仍未确定, 我们结合静电纺丝和原位电化学沉积的过程, 构筑了 Fe-Cu 和 Fe-Co 等双金属活性位点, 协同效应增强了 *NO_3 和 *NO_2 的吸附, 促进了电子从键合金属向 *NO_3 的转移, 同时有利于活性 H 的生成, 加速了 NO_3^- 到 N_2 电催化活性[4]。

参考文献

- [1] H. Zhang, C. Q. Wang, H. X. Luo, et al., *Angewandte Chemie-International Edition*, 2023, 62, e202217071.
- [2] F. Z. Zhang, J. M. Luo, J. L. Chen, et al., *Angewandte Chemie-International Edition*, 2023, 62, e202310383.
- [3] H. X. Luo, S. J. Li, Z. Y. Wu, et al., *Advanced Materials*, 2023, 35, 2304695.
- [4] Y. L. Hua†, N. Song†, Z. Y. Wu, et al., *Advanced Functional Materials*, 2024, 34, 2314461.

B05-20

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。报告还介绍了中国科学院合肥物质科学研究院在电容去离子技术方面的研究进展。

B05-21

光热强化的电容去离子技术

邓立波^{1*}

1. 深圳大学

摘要: 基于二次电池、超级电容器等电化学系统进行离子捕获的技术由于离子选择性高、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, 基于常规电化学手段捕获一些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。本文提出在电化学去离子系统中引入太阳光, 依靠太阳光对电极材料与料液进行加热。由于离子扩散系数随温度增加而提高, 且各类离子提高的幅度不同, 因此提高电极的温度同时提高了多种重金属离子的捕集速率及其对 Na 的分离系数。结合多种表征技术与分子动力学理论计算, 分析了各类离子选择性和捕获速率提升的机理。

B05-22

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: 膜分离技术是一项能耗低、操作简单、清洁无污染的新型水治理技术[1]。在水处理过程中, 膜分离技术能够显著降低 40-70% 的成本投入, 是一种极具竞争力且经济可行的水治理技术[2]。开发和利用膜分离技术可以有效地应对水污染治理挑战, 为水资源的可持续利用和环境的保护做出积极贡献[3,4]。其中, 利用二维纳米片组装技术所制备的纳米膜材料成为克服膜分离过程中选择性和通量难以兼顾的有效途

径[5]。因此,从材料角度出发,开发出用于水中溶质的选择性分离的二维纳米材料及其组装膜,是膜分离技术在水治理领域所面临的巨大机遇和挑战[6]。

汇报人所发展的球磨剥离技术,是一种短耗时、产率中上、污染最小、安全最高的制备二维纳米材料方法。基于本技术,汇报人成功实现对氮化硼、硫化物、硒化物、锑化物、MXene 等 20 余种二维纳米材料,在保持其晶相结构不变的情况下,对其大小和厚度的可控制备。为了研究二维纳米材料的污水治理能力,汇报人将研究二维纳米片复合膜和纳米限域膜在水系和有机体系中对不同模拟污染物分子的去除能力。同时,结合理论计算和实验结果解释膜分离性能提升的原因。为发展新型纳米膜分离技术提供新的材料参考,助力我国早日实现“双碳”目标。

参考文献

- [1] Sholl, D. S.; Lively, R. P., *Nature*, 2016, 532 (7600), 435-437.
- [2] Marchetti, P.; Jimenez Solomon, M. F.; Szekely, G., et al., *Chemical Reviews*, 2014, 114 (21), 10735-10806.
- [3] Lin, J.; Ye, W.; Xie, M.; et al., *Nature Reviews Earth & Environment*, 2023, 4 (11), 785-803.
- [4] 徐南平; 赵静; 刘公平, *化工进展*, 2022, 41 (3), 1091-1096.
- [5] Cheng, L.; Liu, G.; Zhao, J.; Jin, W., *Accounts of Materials Research*, 2021, 2 (2), 114-128.
- [6] Wang, S.; Yang, L.; He, G.; et al., *Chemical Society Reviews*, 2020, 49 (4), 1071-1089.

B05-23

高选择性且环境友好回收铂离子的共价有机框架材料

李傲¹, 张建华^{1*}

1. 天津大学化工学院

摘要: 铂(Pt)具有耐高温、耐化学腐蚀、催化性能优异等特点,是重要的战略性矿产。它既是珠宝行业的保值金属,又支撑了众多新兴产业的发展,在电子元器件和各类催化剂的制备中起到举足轻重的作用。我国储量极其匮乏,多数依赖进口,供求关系间存在严重失衡。工业废水中含铂数量可观。回收低浓度电子废水中的铂对于资源再利用和环境保护具有重要作用。铂等贵金属离子的富集方法多种多样,吸附法具有操作简单、易再生、回收效率高、无二次污染等优点,是对工业废水和自然水体中的金属离子进行分离与回收的重要方法之一,因而开发具有高吸附容量、高选择性、环境友好的铂吸附剂具有重要意义。共价有机框架(COFs)是一类结构规整、比表面积高的多孔材料,尤其是富含电负性和维生素 C 可还原的碲功能化的 COFs,在铂离子的选择吸附上具有广阔的应用前景。

基于碲和铂之间特定的强相互作用以及碲醚基团自身氧化还原敏感性的特点,本文通过设计合成含碲的功能性构筑基元——4,4-二氨基二苯碲醚(DAPT),并将其与均苯三甲醛等构筑基元反应,设计制备了一系列富含碲的功能化共价有机框架材料(TeCOFs),通过 FT-IR 和 ¹³CNMR 测试了 TeCOFs 的分子结构,接着利用 PXRD、N₂ 等温吸附脱附曲线和热重测试表征了 TeCOFs 的物理性能,包括结晶性、比表面积、孔径分布和热稳定性等,随后探究了 TeCOFs 对水中 Pt⁴⁺ 的吸附性能,尤其是利用维生素 C 再生 TeCOFs 活性位点并实现铂离子解吸附的过程。随后,深入探究其吸附水溶液中微量铂离子的应用性能,系统考察 pH、吸附时间、初始铂离子浓度、杂质离子、重复利用次数等对吸附性能的影响,揭示其吸附动力学、吸附等温线等以及吸附机理和相应的优化调控机制,为从废水或盐湖卤水中铂离子的富集回收提供全新的吸附材料。

总之,本文设计制备并优化的 TeCOFs 对水中铂离子具有较高的选择性吸附能力,且对铂离子较高的吸附量(195 mg·g⁻¹)。再考虑到其原料易得,制备工艺简单,解吸附用到的是环境友好的维生素 C,TeCOFs 在解决电子废水中铂离子的回收上具有良好的应用价值。

B05-24

水环境中硫化纳米零价铁去除砷污染物的效能和机理

刘爱荣^{1*}, 付佳慧¹

1. 同济大学

摘要：水体中溶解性砷造成的环境污染已成为不可忽视的全球公共卫生问题。砷的毒性与溶液中赋存状态息息相关，其中水溶液中以三价形式存在的砷[As(III)]毒性最大、环境风险最高，亟待有效治理。在众多砷处理技术中，纳米零价铁（Nanoscale Zero-valent Iron, nZVI）技术因其反应活性强、环境友好的特点，受到人们的关注。nZVI 使用时易团聚、易钝化、电子选择性差等，限制了其实际应用效果。通过对 nZVI 进行硫化改性，硫化纳米零价铁（Sulfidized nanoscale Zerovalent Iron, S-nZVI）能够提高材料的选择性、抗腐蚀性和分散性，从而更适用于污染物的去除。有鉴于此，本文通过控制硫化反应条件，包括硫铁比（S/Fe=0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5）与硫化顺序（一步法，两步法），合成了一系列 S-nZVI 并将其应用于 As(III) 的去除。一方面，实验研究了不同合成条件下 S-nZVI 对 As(III) 的去除效能及其与材料微观结构、理化性质之间的关系。另一方面，通过微观结构表征技术与理论计算相结合，文章深入探究了 S-nZVI 对 As(III) 的去除路径与反应机理。随着 S/Fe 的增加，S 可掺杂进入 Fe₀ 晶格中形成新的晶体结构，增大材料晶面间距、优化晶型并提高电子转移能力，但过度硫化则会造成晶格畸变并破坏原有晶相结构。同时 S-nZVI 内部 O、S、Fe 组分形态含量也随着 S/Fe 的增大呈“火山图”变化趋势，当 S/Fe=0.1 时各方面结构与性质达到最优。此外，相比于两步硫化，一步法硫化程度更高，可同时调节内部晶格结构与外部 FeS_x 形态。同时由于一步法合成的 S-nZVI 中 S 含量与 FeS₂ 占比更高，因此其对表面 H₂O 的吸附较弱，可有效抑制析氢副反应。综合来看，不同的硫化条件通过改变 S-nZVI 结构形态与组成，从而实现了 S-nZVI 理化性质与 As(III) 去除效能的定向调节。硫化赋予了材料独特的结构形态与物质组成，进而改变了 As(III) 的去除机制并显著增强了 As(III) 的吸附、氧化与固定化过程，提高了 S-nZVI 的 As(III) 去除效能。

B05-25

杂原子掺杂电容去离子电极耦合过硫酸盐氧化脱盐同时降解抗生素

马俊俊^{1*}

1. 河北科技大学

摘要：四环素是应用最广泛的抗生素之一，其生产和应用过程中产生的含盐有机废水具有成分复杂，难处理等特点，对环境安全具有潜在威胁。因此，需要开发有效的技术对这种含盐抗生素废水进行处理。电容去离子是一种高效电化学脱盐技术，具有适度脱盐、选择性去除离子和节能高效等特点。在本研究中，简单的多种杂原子掺杂材料作为电容去离子电极，并耦合过硫酸盐氧化过程，实现对含盐四环素废水的高效去除。对所制备电极材料的物理和化学性能进行了表征，且对杂原子的作用进行了深入分析，此外详细解析了离子迁移和有机物降解过程机制。本研究可拓宽电容去离子技术的应用领域，对高盐有机物难降解废水的处理提供基础技术支持。

B05-26

磁性介孔复合材料的表面修饰及其增强污水净化性能

黄微雅^{1*}

1. 江西理工大学

摘要：抗生素可诱导耐药菌或耐药基因生长，对生态系统和人类健康构成潜在威胁。吸附/光催化技术能够发挥两者的综合优势，有望高效、绿色去除废水中的抗生素，具有潜在的应用前景。构建具有高吸附量和光催化性能的可回收材料对抗生素的去除具有重要意义和挑战性。本论文采用一种简单的界面工程策略，在核壳结构的磁性介孔二氧化硅微球(MMS)上负载了分散良好的氧化锆，以有效去除盐酸四环素(TC)。在具有超高比表面积(682.0 m²/g)和界面 Si-O-Zr 作为活性位点的条件下，最佳样品(MMS-Zr10)的 TC 吸附量达到 266.5 mg/ZrO₂ g，是纯 ZrO₂ 的 19.2 倍。同时，在过硫酸氢盐(PDS)存在下，TC 在 MMS-Zr10 上的光催化降解速率常数是 ZrO₂ 的 12.5 倍，这可能是由于界面上的 Zr-O-Si 电荷转移通道增强了光捕获能力和较高的电荷分离效率。此外，在去离子(DI)水溶液和实际废水中连续吸附循环时，TC 去除率没有明显下

降。TC 吸附主要受孔隙填充、氢键和静电相互作用的控制;而 $O_2^{\bullet-}$ 、 h^+ 、 $SO_4^{\bullet-}$ 、 $\bullet OH$ 和 IO_2 对 TC 的光催化降解有促进作用。

B05-27

基于可逆价态转变机制的电容去离子研究进展

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: 基于金属基法拉第电极的可逆价态转变效应, 实现高性能电容去离子具有重要意义。得益于成本低廉、环境友好以及多重氧化态等优点, 金属基法拉第电极显示出良好的应用前景。同时, 探索和阐述金属基法拉第电极中价态可逆转换的内在机制尤为重要。本研究基于价态转变在电容脱盐、重金属净化、放射性核素分离与盐湖提锂等领域的应用研究, 利用电化学分析、原位晶体衍射以及光电子衍射等多重手段, 详细阐述了价态转变的时空特征与内在机制。内容包括: (i) 基于钴酸锰阴极中 Co 和 Mn 的双重可逆价态转换实现了高性能电容脱盐, 结合非原位 XPS 与 DFT 理论计算阐述双金属氧化还原中心的增强机制; (ii) 基于铁锰钙钛矿氧化物中可逆的协同价态转变 (Fe^{3+}/Fe 和 Mn^{3+}/Mn^{2+}), 实现重金属镉高效净化; (iii) 基于 Co 价态可逆转变与 S 软 Lewis 碱性位点, 实现高选择性铈酰离子分离; (iv) 基于 V^{3+}/V^{4+} 的可逆价态转变, 助力高选择性盐湖提锂, 结合原位 XRD 与 DFT 理论计算阐述磷酸盐电极的内在选择性机制。该项研究为基于可逆价态转变的电容去离子研究提供了新思路。

B05-28

ZIF-9 衍生碳纳米复合材料的调控及其电容去离子性能的研究

曹帅^{1*}

1. 扬州大学

摘要: 随着人口增长和城市化进程的加速, 全球淡水需求激增, 海水淡化成为解决水资源短缺的有效途径。电容去离子技术 (CDI) 作为一种低成本、环保的选择备受关注, 但其性能仍有待提高。提升 CDI 性能的关键在于开发具有高效脱盐能力的电极材料, 特别是设计和合成各种碳基材料。传统碳基材料在盐吸附能力方面存在不足, 而沸石咪唑框架 (Zeolitic-Imidazolate Framework, ZIF) 的直接碳化为 CDI 应用提供了新的机遇, 成为提升 CDI 性能的有效策略。然而, 大多数 ZIF 衍生的碳材料主要为微孔结构, 限制了离子和电子在材料内部的扩散和传输。此外, 这些 ZIF 衍生的碳结构通常呈现无定形碳状态, 导致其在电子转移能力、亲水性和导电性方面表现不足。这些缺陷成为 ZIF 衍生碳材料在 CDI 应用中的障碍。本研究针对 Co-ZIF-9 衍生碳材料在离子进出孔径较小、导电性能较差、离子传输速率较低等方面的缺点, 提出了一系列改进策略, 旨在克服这些限制, 提高其在 CDI 应用中的适用性。这些策略包括调控孔径、优化组成和增强导电性能, 最终获得具有良好脱盐性能的电极材料。本研究结合多种表征手段, 系统探讨了这些材料在海水淡化中的潜力和机理。

B05-29

二维层流膜的定向构筑及其对膜污染控制研究

李媛^{1*}, 马妍菁¹

1. 安徽大学

摘要: 不可逆膜污染和渗透选择性低是纳滤技术应用中的关键瓶颈。定向构筑纳米复合膜是实现污染物去除和污染控制的有效方式, 同时提升渗透选择性。基于此, 本研究利用正电性中间体聚乙烯亚胺 (PEI) 调控碳纳米管 (CNT) 在 Mxene 层间的键合过程, 构建可控有序的纳米流体通道, 合理设计层间结构、亲 and 性和电荷性, 合成 Mxene/CNT 复合膜, 考察了 Mxene 层间结构调控对渗透性能和不可逆污染的形成过程的影响机制。对合成膜, 利用 DFT 理论计算模拟了 Mxene、PEI 和 CNT 之间的相互作用, 揭示了氢键、

共价键和范德华力的相互作用使改性膜具有优异的稳定性。此外,评估了 MXene/PEI@CNT 膜在处理 BSA 和 HA 溶液后的通量恢复情况,结果显示经过四轮污染冲洗后,改性膜仍然能保持 80% 的渗透性,对 HA 和 BSA 的截留率达 98%。XDLVO 理论模拟证实了在 MXene/PEI@CNT 膜与污染物之间极性力粘附自由能 (DGAB) 起主导作用。本研究可为新型膜材料合成和膜污染控制提供理论基础和技术支撑,具有重要的现实意义。

B05-30

基于有机硅纳米线的超浸润油水分离材料

楚宗霖^{1,2*}, 王德琦¹, 黄海康¹, 周文婷¹, 朱家明¹, 刘恒昌^{1,2}

1. 湖南大学化学化工学院

2. 湖大粤港澳大湾区创新研究院 (广州增城)

摘要: 油水分离技术在诸如溢油清理、原油脱水、废水处理和有机反应纯化等领域中都有着广泛的需求。传统的油水分离技术,如撇油器、聚结器、离心法和浮选法等通常存在分离效率低、能耗高的问题。超浸润多孔膜已展现出其在高效油水分离方面的巨大潜力。然而,机械稳定性和抗油污性能是限制其实用化应用的两大瓶颈 (Angew. Chem. Int. Ed., 2015, 54: 2328; ACS Appl. Mater. Interfaces, 2022, 14: 43656)。在此,通过将有机硅纳米纤维结合到多孔玻璃膜上,成功制备出兼具机械稳定性和卓越油水分离性能的微/纳米复合三维材料 (Adv. Mater., 2015, 27: 7775)。具体来说,我们设计了一款智能装置,该装置由两种具有相反超浸润特性的膜组成,能够同时高效地净化复杂油水系统中的水相和油相 (Sep. Purif. Technol., 2023, 312: 123406; ChemSusChem, 2023, 16: e202201932)。基于有机硅纳米材料的高温耐受性 (Nano Letters, 2019, 19, 7106),我们创建了一款用于高温油水分离的设备,可用于纯化有机溶剂、分离高粘度油以及促进缩合反应 (J. Mater. Chem. A, 2023, 11, 13231)。通过共价连接磺酸甜菜碱分子修饰到涂覆硅纳米线的玻璃膜上,得到的磺酸甜菜碱改性玻璃膜在分离油水混合物和水包油乳液方面显示出了优异的可重复使用性 (J. Membr. Sci., 2023, 670, 121336)。总之,鉴于易于制备、低成本及高效的优势,我们相信基于有机硅纳米线的超浸润材料将会引起在基础研究和众多工业领域的极大兴趣。

B05-31

Zinc oxide nanosheet decorated self-supporting hierarchical porous wood carbon electrode for efficient capacitive deionization defluorination

Sumei Zheng^{1,2*}

1. Xiamen Ocean Vocational College

2. CAS Key Laboratory of Urban Pollutant Conversion, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences

摘要: Excessive fluoride in water is severe harm to human health and has become a global public health problem. However, there is a lack of efficient and affordable defluorination technology, especially for fluoride removal from low concentration F^- wastewater. Herein, zinc oxide nanosheet decorated self-supporting hierarchical porous wood carbon (ZnO/HPWC) was prepared as electrode for membrane capacitive deionization (MCDI) and used for defluorination. The used activator of $ZnCl_2$ would not only manufacture hierarchical pore structure of wood carbon, but also allow in-situ vertical growth of uniform ZnO nanosheets on HPWC. A high F^- removal (94.52%) was achieved at 5 mg L^{-1} of F^- solution by the ZnO/HPWC-based MCDI, as well as its improved electrosorption capacity (31.25 mg F^- g $^{-1}$ ZnO/HPWC). Excellent defluorination performance of ZnO/HPWC was also achieved at real wastewater (F^- , 6.25 mg L^{-1}), of which the final F^- concentration (1.32 mg L^{-1}) can meet the WHO standard of drinking water (<1.5 mg L^{-1}). The defluorination mechanism was studied and discussed, which proved the high defluorination performance of ZnO/HPWC was due to the chemical interaction between F^- and ZnO nanosheets, and diffusion capacitance (pseudocapacitance) offered by ZnO nanosheets dominated over the surface capacitance

(electric double layer capacitance) by HPWC.

B05-32

羟基氧化铁对铅离子的选择性吸附及其电化学再生

王雷^{1,2*}

1. 河北工业大学化工学院, 教育部海水高效利用化工技术工程研究中心
2. 河北省现代海洋化工技术协同创新中心

摘要: 如何治理重金属污染是环境保护的重要议题。选择性提取重金属可以同时达到水体净化与资源回收利用。吸附法因其温和的处理过程、广泛的适用性和高选择性被认为是一种具有前景的重金属选择性提取技术。而高性能吸附剂的合成, 使用后吸附剂的处理处置与再生问题则是其面临的重要挑战。FeOOH 是一种低成本的绿色吸附剂, 但其选择性吸附性能与再生少有研究。因此, 本工作探究了 FeOOH 对于 Pb^{2+} 、 Co^{2+} 和 Ni^{2+} 的选择性与利用电化学再生的效果。未通电状态下, FeOOH 电极的 Pb^{2+} 吸附容量为 20 mg/g。当施加 -0.2 V 电压时, 其吸附容量增加至 42 mg/g, 在 0.8 V 电压下其脱附率约 70%-80%。为探究 FeOOH 的稳定性, 对其进行了 35 个循环测试。在循环过程中 FeOOH 一直保持着优异的 Pb^{2+} 选择性, Pb^{2+} 在提取物中纯度为 $97\pm 3\%$, 第 5 个和第 35 个循环的容量保持率分别约为 80% 和 35%, 与化学法再生效果相似。通过 DFT 计算研究了 Pb^{2+} 的主要吸附形式与选择性。相比于隧道和(010)表面, 热力学上 Pb^{2+} 更倾向吸附于(100)表面。 Co^{2+} 和 Ni^{2+} 也表现出同样的性质, 但其吸附能低于 Pb^{2+} , 即热力学上 Pb^{2+} 更易被吸附。我们也在该体系工业下测试了工业使用后的造粒 FeOOH, 其表现出 37 mg/g 的吸附容量与高选择性。该项工作验证了利用电化学法对 FeOOH 吸附剂再生与再利用的可行性。

B05-33

界面调控策略提升 LDH 和 MXene 的电容去离子性能

蔡延萌^{1*}

1. 聊城大学

摘要: 层状双氢氧化物 (LDH) 已被认为是一种有前景的二维电容去离子材料(CDI)用于 Cl^- 捕获的法拉第材料, 具有可调的层间距离、高阴离子交换容量和可逆的离子嵌入/脱嵌能力。但自堆积倾向、导电性差、LDH 纳米片的不良稳定性严重阻碍了离子迁移和活性位点的可及性, 导致 CDI 性能不理想。在这里, 我们展示了一个精心设计的三维氮掺杂多孔碳球/NiMn 层状双氢氧化物/MXene 夹层结构复合材料 (NPC/NiMn-LDH/MXene) 作为 CDI 阳极有效捕获 Cl^- 。在此装配中, MXene 不仅确保优异的导电性, 可实现快速离子转移, 同时也可作为均匀的坚固基材 NiMn-LDH 纳米片的分散。此外, NiMn-LDH 有效抑制 MXene 并为离子容纳提供大量的存储容量。导电介质 NPC 建立互连的导电通道, 丰富了可访问的电荷传输路径, 从而加速离子扩散动力学。因此, NPC/NiMn-LDH/MXene 电极表现出显着的特异性电容 (265 F g^{-1})、较低的离子传输阻力和优化的 Cl^- 扩散系数 ($7.95 \times 10^{-17} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$)。在不对称 CDI 电池组件中, NPC/NiMn-LDH/MXene/NPC 电池具有出色的 Cl^- 吸附容量 (43.5 mg g^{-1})、快速除盐率 ($12.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ min}^{-1}$)、高效能源利用 ($0.183 \text{ kWh} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ NaCl}$), 以及良好的循环吸附/解吸稳定性 (89.6% 保留率)。此外, 密度泛函理论(DFT)计算验证了 NPC/NiMn-LDH/MXene 的夹层结构促进从 NPC 和 MXene 到 NiMn-LDH 的界面电荷转移, 加速离子转移速率, 以及降低离子迁移能量, 从而实现离子扩散动力学和平滑的 Cl^- 穿梭。这种独特的该方法通过利用法拉第独特的结构特征丰富了离子转移途径材料, 为 CDI 技术的进一步发展提供了宝贵的见解。

B05-34

新型 MXene 基电极材料在电容去离子中的应用

孙怡然^{1*}

1. 上海工程技术大学

摘要: MXene 的层状结构可实现离子的嵌入和脱出, 且具有较高的导电率, 在电容去离子脱盐领域具有较大潜力。但是, MXene 的团聚问题限制了其脱盐性能的发挥。因此, 本研究利用机械力辅助热碱液衍生法合成了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x\text{MXene}$ 纳米管自支撑膜电极, 通过 1D 纳米管卷曲缠绕形成 3D 多孔电极结构来扩大 MXene 活性位点的利用率并解决其团聚问题, MXene 上的官能团被部分氧化, 降低了 MXene 片层间的作用力, 由于施加在薄膜上剪切应力和向心力的力差, 使 MXene 弯曲生长形成细长的纳米管, 纳米管的堆叠形成自支撑膜表面的疏松多孔结构。MXene 表面的含氧官能团、纳米管及其组成的 3D 网络结构为电极提供了更高的比电容, 且使电荷和离子更易到达表面的活性位点, 此外, 该结构也搭建了离子和电子的传输路径, 从而加快了电极的离子扩散和电荷转移速率。MXene 纳米管膜电极在电流密度为 30 mA g^{-1} 、截止电压为 1.2 V 下的电容去离子脱盐容量高达 106.5 mg g^{-1} , 脱盐速率为 $0.87 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 。电极对三种胞外抗性基因的去除率均超过 95%, 其对胞内抗性基因的去除率略低于胞外抗性基因。在 NaCl 和抗性基因共存的条件下, 电极的电容去离子脱盐性能和对抗性基因的去除性能与单一污染物存在时的性能相似, 且在四次循环后, 对含胞内抗性基因海水中的脱盐容量和抗性基因去除率未出现显著衰减。与其他抗性基因去除技术相比, 该技术在去除效率、成本、能耗、可规模化性等方面具有较优的综合性能。

B05-35

金属有机框架膜的制备及其在液相分离中的应用研究

王航^{1*}

1. 中国石油大学(华东)

摘要: 金属有机框架材料(MOFs)是一类新兴的多孔无机-有机杂化晶体材料, 具有比表面积大、孔径可调、金属中心分布均匀、功能可调等优势, 在环境净化和液体分离领域具有重要的应用前景。然而, MOF 颗粒通常难以加工成特定应用的器件, 因为它们的脆性, 不溶性, 成型困难, 以及稳定的高价金属(IV)基 MOF 在其生长和成核过程中有利于形成热力学稳定的金属氢氧化物或氧化物, 这阻碍了它们的实际应用。因此, 我们提出了热诱导相分离-热压(TIPS-HoP)策略, 以对辊生产 10 种不同的 MOF 膜(担载量高达 86 wt%)。水通量为 $125.7 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ 时, 错流过滤模式下有机染料的截留率达 99%。MOF 颗粒之间的微米级通道转化为快速水渗透, 而多孔 MOF 通过快速吸附来排斥溶质。此外, 提出一种通用的深度共晶溶剂(DES)辅助热压方法在 20 min 内在纤维上快速制备了六种不同的锆基 MOF 纳米晶体(表示为 Zr-MOFilters)。Zr-MOFilters 具有去除 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 和微(纳)塑料的能力。通过电化学方法在导电基底上原位制备一系列 Zr-MOF 膜用于盐差能发电。随后, 通过在氧化石墨烯(GO)上原位生长的二维沸石咪唑盐框架(ZIF-L)来构建 ZGO 膜, ZIF-L 作为中间层, 增加了氧化石墨烯的垂直中间层间距和横向弯曲路径间距, 从而提高了 ZGO 片层膜的稳定性、选择性和离子渗透性。ZGO 膜的 K^+ 渗透率为 $86.9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $\text{K}^+/\text{Mg}_2^{+}$ 选择性高达 266, 优于目前最先进的 GO 膜。这些发现使得许多液相分离应用, 如能量储存和转换, 海水淡化和盐湖提锂。

参考文献

- [1] H. Wang et al., *Angewandte Chemie-International Edition*, 2018, 57, 16416.
- [2] H. Wang et al., *Nature Communication*, 2019, 10, 4204.
- [3] H. Wang et al., *Science China-Chemistry*, 2022, 65, 2462.
- [4] H. Wang et al., *Nano Research*, 2022, 15, 9047.
- [5] H. Wang et al., *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023, 649, 616.
- [6] H. Wang et al., *Journal of Membrane Science*, 2024, 701, 122718.

B05-36

Fabrication and characterization of a defect-free PVDF/ZIF-8-lignosulfonate Membrane for Congo red and Tetracycline removal from water

Juan Dai^{1*}, Yue Li¹, Jin Wang, Yanchao Yin, Peiyu Zhao, Peichuang Li¹

1. Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences) Heze Campus

摘要: Lignosulfonate (LS) can be used to improve the dispersion of ZIFs and increase more active adsorption sites. However, due to the crystal properties and powder form of ZIFs-LS composite, it is difficult to recover and easy to cause secondary pollution in the adsorption process. In this study, a dense and uniform polyvinylidene fluoride (PVDF)/ZIF-8-LS composite membrane was fabricated by loading a continuous ZIF-8-LS film layer on the PVDF membrane through the vapor deposition. The introduction of LS can promote the growth of dense ZIF-8-LS layer and enhance the compatibility between ZIF-8-LS and PVDF membrane. The resulting PVDF/ZIF-8-LS membrane shows a higher continuous, uniform and dense ZIF-8-LS layer without macroscopic cracks or obvious defects. In addition, the PVDF/ZIF-8-LS exhibits the best adsorption capacity of 110.6 mg g⁻¹ for Congo Red, about 8.8 mg g⁻¹ higher than the PVDF/ZIF-8, and 110.2 mg g⁻¹ for tetracycline, respectively. The more active adsorption sites facilitate the contact between the ZIF-8-LS layer and the adsorbed substance, in addition to the electrostatic, H-bonding, π - π interactions and coordination bond are also conducive to the adsorption of PVDF/ZIF-8-LS. The excellent adsorption performance and good recyclability of the PVDF/ZIF-8-LS composite membranes exhibit a potential for adsorbing other contaminants from water.

B05-37

PBAs 改性电极在电容去离子脱盐中的应用

沈晓杰^{1*}

1. 浙江海洋大学海洋科学与技术学院

摘要: 普鲁士蓝类似物 (Prussian blue analogs (PBAs)) 具有开放的晶体结构、较大的离子传输通道使其在 HCDI 应用上有广阔的前景。但是同诸多电池行为的过渡金属化合物基电极材料相似, PBAs 应用于 HCDI 存在诸多问题: 首先是长循环稳定性较差的问题, 在钠离子嵌脱过程中, 存在着的大量 Fe(CN)₆ 缺陷使得 PBAs 晶体结构中的 Fe-CN-M 在反应中易被破坏; 其次是一般制备 PBAs 的方法为简单化学沉淀法, 该方法制得的颗粒存在材料利用低的问题, 具体如下: 第一, 合成的颗粒尺寸大, 使得材料内部的晶格难以被有效利用; 第二, 颗粒易堆叠在一起, 增加钠离子传输距离; 第三, PBAs 的导电性较差, 电荷无法有效传输使得材料利用率低。因此, 急需一种新型的改性方法来提高材料的宏观和微观稳定性, 同时改善材料的利用率的方法。目前, PBAs 常用的改性方法包括材料纳米化, 表面修饰以及成分调控。本课题组采用不同的改性方法分别设计出掺杂电极及复合电极以改善 PBAs 用于 HCDI 的脱盐性能。

B05-38

载体耦合金属纳米团簇的可控合成策略及其电容去离子、杀菌一体化应用研究

刘勇^{1*}

1. 青岛科技大学

摘要: 电容去离子抗菌 (Capacitive deionization disinfection, CDID) 是 2015 年来国际上发展起来电容去离子 (Capacitive deionization, CDI) 重要研究分支。其突出优势在于离子去除、杀菌一体化及潜在的离子选择性。然而, 该技术面临两大核心问题: 1) 受制于接触抗菌集成电吸附的原理基础, 高通量下活细菌脱附严重, 致使杀菌性能难以保障; 2) 杀菌、去离子两动力学过程的相互影响规律尚不明确。金属纳米团簇, 作为连接金属原子与纳米晶的纽带, 具有原子级精确的超小尺寸 (<2 纳米)、有趣的类分子性质、简便的合成方法、可剪裁的表面化学、低的生物毒性、良好的光/电稳定性等优点, 使其作为电极材料构筑的电容脱盐系统在水净化效率和动力学调控方面表现优异。另外, 金属纳米团簇 (如金、铂、铜等) 基催化剂具有原子级别的活性位调控特性, 在离子储存、电催化和光动力产活性氧方面的表现也可圈可点; 而且, 金属纳米团簇 (如金、银、铜等) 也被证实具有良好的本征杀菌活性。团簇的上述特性有助于构筑团簇基的小型化、无毒副产物、过程连续的电容水体杀菌、去离子一体化系统。针对这一应用特点本课题组开发了四种载体耦合金属纳米团簇的合成策略, 以期解决电容去离子、抗菌一体化的瓶颈问题。

B05. 环境净化材料与技术分会**青年学者专场**

分会主席：邱介山、马杰、张增志、于飞、周宏建

B05-39**Flexible ultrathin Nitrogen-Doped carbon mediates the surface charge redistribution of a hierarchical tin disulfide nanoflake electrode for efficient capacitive deionization**Ming Gao¹, Wenqing Chen^{1*}

1. Sichuan University

摘要：Constructing pseudocapacitive electrodes with high specific capacities is indispensable for increasing the largescale application of capacitive deionization (CDI). However, the insufficient CDI rate and cycling performance of pseudocapacitive-based electrodes have led to a decline in their use due to the corresponding volumetric expansion and contraction that occurs during long-term CDI processes. Herein, hierarchical porous SnS₂ nanoflakes are encapsulated inside an N-doped carbon (NC) matrix to achieve efficient CDI. Benefiting from the synergistic properties of the pseudocapacitive SnS₂ nanoflakes and few-layered N-doped carbon, the heterogeneous interface simultaneously provides more available vigorous sites and demonstrates rapid charge-transfer kinetics, resulting in a superior desalination capability (49.86 mg g⁻¹ at 1.2 V), rapid desalination rate (1.66 mg g⁻¹ min⁻¹) and better cyclic stability. Computational research reveals a work function-induced surface charge redistribution of the SnS₂@NC heterojunction, which can lead to an auspicious surface electronic structure that reduces the adsorption energy to improve the diffusion kinetics toward sodium adsorption. This work contributes to providing a thoughtful understanding of the interface engineering between transition metal dichalcogenides and NC to construct high-performance CDI electrode materials for further industrialization.

B05-40**交联 TEMPO-氧化纤维素纳米纤维制备松散纳滤膜的研究**刘莎莎^{1*}, 孙梅¹

1. 安徽工程大学

摘要：近年来，染料/盐分离越来越受到人们的关注，人们迫切需要寻找具有成本效益和环境友好型的纳滤膜来合成高效的染料/盐分离膜。本文采用绿色纳米材料 2, 2, 6, 6-四甲基哌替啶-1-氧化物自由基 (TEMPO)氧化纤维素纳米纤维(TOCNF)，在微孔基质上依次过滤大尺寸和细尺寸的 TOCNF，然后与三甲基氯交联，通过简单的真空抽滤方法制备了高性能松散结构的纳滤膜。所得到的 TCM 膜具有完全由纯 TOCNF 组成的分离层，无需其他聚合物或纳米材料添加剂。TCM 膜具有高性能和有效的染料/盐选择性。扫描电镜(SEM)分析表明，具有 Fine-TOCNF 层的 TCM 膜具有致密的层状结构。通过傅里叶变换红外光谱(FTIR)和 x 射线衍射(XRD)进一步表征证实了交联膜的官能团和化学键的存在。值得注意的是，优化后的 TCM-5 膜对各种染料（刚果红和橙黄）的去除率超过 99%，对 NaCl 的去除率超过 14.2%，显示了高效处理染料废水的潜在候选物。

B05-41**半胱氨酸功能化玻璃膜在油水分离中的应用**刘恒昌^{1, 2, 3}, 王德琦¹, 黄海康¹, 周文婷¹, 楚宗霖^{1, 2*}

1. 湖南大学化学化工学院

2. 湖南大学粤港澳大湾区创新研究院

3. 南昌师范学院化学与食品科学学院

摘要: 超亲水/水下超疏油 (SUS) 膜因被认为是最具应用潜力的油水分离材料而备受关注。然而, 油污将导致 SUS 膜的分离性能下降和使用寿命减短, 这是该研究领域面临的一大挑战。表界面两性离子功能化修饰是赋予 SUS 膜优良抗污性的一个重要手段。但是, 目前修饰方法所需的两性离子底物通常较为昂贵, 抑或需要复杂的合成步骤。此外, 两性离子功能化 SUS 膜通常含有酯键或酰胺键等易水解基团。上述缺点都限制了两性离子功能化 SUS 膜的实际应用。基于此, 我们利用天然氨基酸构建两性离子功能化 SUS 膜。首先, 以乙烯基三氯硅烷为前驱体, 通过化学气相沉积在沙粒烧结的多孔玻璃膜表面修饰有机硅纳米线涂层; 之后, 通过“巯基—烯”点击反应使半胱氨酸与有机硅纳米线表面的乙烯基形成共价键, 从而制备不含易水解基团的半胱氨酸功能化 SUS 膜。该 SUS 膜具有出色的抗污性, 并在油水分离过程中表现出良好的分离性能和重复使用性。由于两性离子底物廉价和制备方法简便, 具有优良抗污性和高效分离性能且不含易水解基团的半胱氨酸功能化 SUS 膜将在会油水分离领域引起强烈的关注。

参考文献

- [1] Liu, H.; Wang, D.; Huang, H. et al., *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2024, 12(3): 112654.
- [2] Zhou, W.; Min, F.; Shi, J. et al., *Journal of Materials Chemistry A*, 2023, 11(25): 13231.
- [3] Huang, H.; Shi, J.; Pan, B.; et al., *Separation and Purification Technology*., 2023, 312: 123406.

B05-42

高阶无序金属有机框架用于电化学阴离子筛

张笑晨¹, 于飞³, 马杰^{1, 2*}

1. 同济大学
2. 喀什大学
3. 上海海洋大学

摘要: 无序金属有机框架 (Metal Organic-framework, MOF) 将晶体 MOF 固有的稳健稳定性和孔隙可调性与无定形结构中存在的缺陷和活性位点所带来的优势完美地结合在一起。本研究开创性地利用逆定向附着 (interference-oriented attachment, IOA) 机制, 对 MIL-101(Cr) (Cr-MOF) 的形态和晶体生长进行了精心设计, 从而成功合成了一种高阶无序的 Cr-MOF, 它拥有一系列增强的活性位点和优异的电化学性能。利用晶格畸变指数和分形维度阐明了无序结构与 MOF 电化学特性之间的相关性。高阶无序 MOF 电极具有显著的氟化物筛分效果, 其氟化物吸附能力高达 $41.04 \text{ mg NaF g}_{\text{electrodes}}^{-1}$, 优于传统的除氟材料。第一原理计算结合相关实验进一步验证了无序结构能显著提高材料的除氟性能。本研究介绍了一种自下而上直接合成高级无序 MOFs 的新方法, 展示了其在电化学水处理领域的应用潜力。

B05-43

锌掺杂锰普鲁士蓝的制备及其盐湖铯的电化学分离研究

庞孟蝶^{1*}

1. 中科院合肥物质研究院固体物理所

摘要: 近年来, 电容去离子 (CDI) 在盐湖中有效开发有价值的资源 (Li、K、Cs 等) 方面引起了人们的极大兴趣。其中, 实现铯的高效分离和提取是目前的热点和难点之一。在本工作中, 使用锌掺杂的六氰高铁酸锰 (ZMFC) 作为 CDI 阴极材料选择性电化学分离 Cs^+ , 通过 SEM、TEM、三电极电化学测试等多项测试, 确定了锌掺杂含量为 10% 的最佳复合材料 ZMFC-0.1。ZMFC-0.1 对 Cs^+ 的最大电吸附容量为 277.6 mg g^{-1} , 20 次连续循环后仍保持 89% 的容量保留率。利用原位 XRD 和非原位 XPS 表征研究了 Cs^+ 在 ZMFC-0.1 电极材料中的电吸附机理。此外, ZMFC-0.1 在 Cs^+/Na^+ 摩尔比为 1:40 时显示出 27.4 的高选择性系数。DFT 计算表明, 与未掺杂的 MnHCF 相比, 锌掺杂的 ZMFC 具有更强的稳定性和电化学活性, 并且与 Na^+ 相比, 对 Cs^+ 的吸附能更低。最后, 对西藏盐湖卤水中铯的选择性分离实验结果表明 ZMFC-0.1 电极对盐湖卤水中铯资源的提取具有很大的潜力。

B05-44

基于磺化聚(亚苄基-co-亚三联苯基 亚烷基)阳离子交换膜的性能研究及其在流动电极电容去离子中的应用

江涛¹, 魏海兵², 周宏建^{1*}

1. 中国科学院合肥物质科学研究院
2. 合肥工业大学

摘要: 在本工作中, 我们成功合成了一系列无醚键的磺化聚(亚苄基-co-亚三联苯基 亚烷基)聚合物 (SPFT-x), 并将其应用于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、适中的吸水率以及较高的离子电导率。特别地, SPFT-60 膜具有优异的相分离形态, 其域间距为 2.7 nm。得益于其优异的相结构形态以及高的离子交换容量 (IEC), SPFT-60 膜的 Na⁺电导率达到 51.8 mS cm⁻¹。通过热重分析 (TGA) 和力学性能测试, 发现 SPFT-x 膜的初始热分解温度 (Td, 5%) 超过 400°C, 最大拉伸强度达到 57.2 MPa。此外, SPFT 膜在芬顿试剂 (3 ppm FeSO₄ 和 3% H₂O₂) 中 80°C 浸泡 5 小时后, 其重量保持率高达 97.2%, 显示出卓越的氧化稳定性。采用 SPFT-60 膜的 FCDI 膜电极组件实现了 1.39 μmol cm⁻² min⁻¹ 的平均盐去除率 (ASRR), 这是基于商业化膜 FCDI 的 2.0 倍。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。

B05-45

赅电容/电池型柔性法拉第电化学除氯电极的构建与效能研究

雷晶晶¹, 马杰^{1, 2*}

1. 同济大学
2. 喀什大学

摘要: 潜在的能源危机和环境问题极大地刺激了高性能和环保型电化学存储系统的研究。电池材料通过扩散受限的法拉第反应储存电荷, 其缓慢的氧化还原过程导致高能量密度 (~200 Wh kg⁻¹), 低功率密度; 双电层电容器通过表面控制的离子吸附来存储电荷, 具有功率密度高、充放电速率快、寿命长等特点, 但能量密度非常有限 (~5 Wh kg⁻¹)。电化学除氯是连接能量储存与水处理环境应用的一个重要节点。类似地, 以上两类电极材料对应于电化学去离子领域涉及氧化还原反应的法拉第材料与基于双电层的传统碳材料。传统碳材料除氯速率快, 长期循环稳定性好, 但是容量低 (<20 mg g⁻¹); 基于转化反应的 Ag/AgCl、Bi/BiOCl 电极除氯容量较高 (>100 mg g⁻¹), 但是涉及相变过程, 循环性能差且反应速率受阻。因此, 探寻具备快速充放电速率和高能量密度的新型赅电容材料以及进一步加快电池材料的电荷传输与稳定性有望解决上述问题。

本报告针对水体中氯离子难去除以及电化学除氯过程中除氯容量、除氯速率与循环稳定性之间的权衡, 构建了 (1) MXene/碳纳米纤维电极 Ti₃C₂T_x/CNF: 一维碳纳米纤维充当桥梁, 连接分散的二维 Ti₃C₂T_x 纳米片形成三维互连导电网络, 提供电子和离子的快速传输, 基于赅电容离子插层的 Ti₃C₂T_x 为离子储存提供超大的层间空间; (2) 软/硬界面组装 FeOCl/Ti₃C₂T_x: Ti₃C₂T_x 作为 FeOCl 的柔性导电膜, 在促进电子传输的同时提供足够的缓冲空间缓解 FeOCl 在 Cl⁻ 嵌入/脱嵌过程中的膨胀/收缩, 其独特的拓扑化学氧化还原 (Fe²⁺/Fe³⁺) 特性形成较高的可逆除氯容量; (3) 多通道碳纳米纤维原位限域封装 Bi 纳米点电极 Bi@MCNF: 纳米尺寸效应大大缩短离子扩散长度的同时使电极表面/界面高度暴露, 实现了与赅电容相媲美的快速氧化还原动力学, 有利于快速的法拉第反应过程同时缓解电极的体积膨胀。希望我们的研究能为探索电化学储能与能量转换领域跑得快、跑得远、跑得久的电极材料带来更多的启示。

B05-46

Self-assembly of MIL-53(Al) nanosheets "Blue Planet Flower" for capacitive deionization and efficient fluoride removal

Yidi Yang¹, Fei Yu^{1*}

1. Shanghai Ocean University

摘要: As a relatively novel MOFs material, MOFs nanosheets not only have the advantages of high porosity and controllable structure of traditional bulk MOFs crystals, but also have ultrathin morphology and more active sites, and the unique morphology and structure can improve the drawbacks of the poor electrical conductivity of MOFs materials to a certain extent. In this paper, amino-functionalized MIL-53(Al) nanoflakes were synthesized in one step by a simple hydrothermal method, which exhibited excellent CDI fluorine removal capability ($59.56 \text{ mg NaF g}_{\text{electrodes}}^{-1}$), low energy consumption ($1.0 \text{ kWh kgNaF}^{-1}$) and good stability compared with the conventional bulk MOFs and the 2D single nanoflake MOFs. The material morphology and structure were systematically characterized by SEM and XRD. This study provides a new idea for the controllable synthesis of MOFs by modulated synthesis method, as well as opens up a new idea for the application of MOFs in CDI, and provides a simple method for the construction of highly efficient MOF fluoride removal electrodes.

B05-47

竹质活性炭电极材料对污水中硝酸盐的高效选择性去除研究

肖伟龙^{1*}

1. 四川大学

摘要: 硝酸盐是污水中氮污染的主要存在形式, 高效选择性地去除水中的硝酸盐不仅是总氮指标达标的保障, 而且可以极大地缓解国家与地区的用水压力和污水治理压力。相比于活性污泥法、离子交换法、催化还原法等技术, 具有低能耗、高效率和高选择性的电容去离子技术近年来受到了越来越多的关注。本文选用来源广泛、绿色环保、炭产率高的竹子作为基材, 采用一步碱活化的方法制备了一种具有高吸附容量、高硝酸盐选择性的电极材料。用 BET、SEM、XPS、FT-IR、Raman 等手段对电极材料的孔径分布和表面性质等进行了表征, 用 CV、GCD、EIS 对电极材料进行了电化学表征, 设计实验测试了电极材料的吸附容量、吸附速率、硝酸盐选择系数、循环稳定性。结果显示, 竹质活性炭具有发达的孔隙结构, 对硝酸盐的吸附容量高达 28.59 mg/g , 同时在最佳制备条件下其微孔比例高达 91.48% , 对氯离子和硫酸根的选择系数分别可达 3.12 和 4.96, 可实现硝酸盐的选择性去除。竹质活性炭的研发对推动 CDI 技术用于污水硝酸盐去除具有重要意义。

B05-48

Construction and desalting characteristics of metal-carbon composite electrode

Haining Hou^{1*}

1. Ningxia University

摘要: In the field of capacitive deionization (CDI), capacitive electrode materials play a major role in the CDI device, such as electrostatic adsorption and pseudocapacitance reaction, by applying voltage to the electrodes on both sides of the capacitor to achieve efficient ion capture and release capability. The adsorption mechanism and conditions of different materials for various ions are different, which will directly affect the ion adsorption performance of CDI device. In this paper, a new spherical single metal composite carbon-based material was prepared for the first time by a one-step hydrothermal synthesis method under the reaction condition of 140°C hydrothermal 16 h. The material was applied to the anode of a desalting device and its adsorption effect on Cl^- in NaCl solution in CDI was studied. The experimental results show that when the concentration of NaCl solution is 529 mg/L and the electrode voltage is 1.4 V , the maximum desalting capacity of the electrode reaches 149.14 mg/g .

B05-49

植酸插层改性 GO/PES 膜实现高效油水分离

田丽辉¹, 高春梅^{1*}

1. 上海海洋大学

摘要: 海上石油泄漏和工业废水产生的含油废水增加, 严重影响环境和人类健康。膜分离技术凭借其高选择性已成为当前油水处理中潜在应用。本研究探讨了植酸改性氧化石墨烯, 通过金属—有机磷的配位作用, 引入亲水性基团。通过 RTIPS 法制备 PES 超滤膜, 以及其对渗透-选择性的影响。通过植酸与金属离子 (Fe^{3+}) 的螯合作用, 成功改性了氧化石墨烯, 使得其在复合材料中具有更好的稳定性和分散性。最终利用逆向热转换法制备出超滤膜, 实现了相分离过程。经渗透性和选择性实验, 膜的纯水通量最高可达 $1788.89 \text{ (L/m}^2\cdot\text{h)}$, 是 PES 膜通量的 12 倍, 且分散油和乳化油的分离效果均在 99% 以上。 Fe^{3+} -PA/GO 材料引入分离膜中, 膜的亲水性增加, 解决了传统制膜方法 Trade-off 效应。此外, 由于氧化石墨烯的存在, 使得膜材料的机械性能得到提高。这为油水混合物的分离和油水两相的分离提供了一种新的思路。 Fe^{3+} -PA/GO/PES 膜的高透水性、高分离效率以及优异的抗油污性能, 为石墨烯基纳米结构材料在水净化和废水处理领域的应用提供了广阔的前景。

B05-50

双过渡金属基 MXene 及其轻微氧化策略在二价离子选择性电化学分离中的应用研究

李强¹, 马杰^{1,2*}

1. 同济大学

2. 喀什大学

摘要: Realizing the selective separation of monovalent and divalent ions in water is the key to the development of next-generation water treatment and resource recovery technologies. Here, we systematically report the application of bis-transition-metal TiVC MXene electrodes in the selective removal of divalent cations, and propose a strategy for the slight oxidation of bis-transition-metal MXene. Among them, the V atoms ensure the integrity and high electronic conductivity of the TiVC MXene two-dimensional lamellae due to their high degree of oxidation resistance, while the derived uniformly dispersed TiO_2 nanoparticles effectively extend the interlayer spacing of the MXene, improve the ionic diffusion kinetics, and enhance its selectivity for divalent cations. Thanks to the above synergistic effect, SO-TiVC has good electrochemical properties as well as hybridized CDI properties, with a specific capacitance of 209.4 F g^{-1} , a Ca^{2+} adsorption capacity of 59 mg g^{-1} , and an adsorption rate of $1.97 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$, as well as a good cycling stability. In addition, we systematically evaluated the specific ion selectivity of SO-TiVC electrodes in mixed salt solutions and obtained $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ and $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ selectivities up to 13.67 and 11.12, respectively, which exceeded those of the existing MXene-based electrodes. Finally, the selective capacitive deionization of SO-TiVC for Ca^{2+} and Mg^{2+} was deeply investigated by density functional theory. This study provides a theoretical basis for the development of efficient divalent cation-selective electrodes utilizing the intrinsic properties of the bis-transition metal MXene.

B05-51

用于多功能空气过滤的丝素蛋白/羧甲基壳聚糖/丝瓜络复合气凝胶

韩明泽¹, 赵波¹, 郭丽^{1*}

1. 吉林大学

摘要: 目前我国畜牧业发展迅速, 但环境污染依然严重。其主要污染物包括 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_5 、 PM_{10} 和大肠杆菌等细菌。畜禽养殖场使用的过滤材料存在机械强度差、过滤效率低、毒性大等问题。丝素蛋白气凝胶作为一种轻质多孔生物材料, 在环保和高性能空气过滤方面具有很大的应用潜力。然而, 由于纯丝素蛋白气凝胶的机械强度低, 其应用仍然具有挑战性。本研究制备了负载于天然丝瓜络的丝素蛋白/羧甲基壳聚糖气凝胶。丝瓜络极大地提高了气凝胶的机械性能, 即使在风力大的条件下气凝胶也能够实现稳定过滤。

此外, 羧甲基壳聚糖的加入不仅提高了气凝胶的弹性, 还与丝素蛋白气凝胶的多孔结构产生协同作用, 可以更高效的捕获颗粒物, 并使气凝胶具有优异的抗菌性能。本研究提出了一种集环保与多功能过滤功能于一体的新型过滤材料设计。

B05-52**插层型赝电容材料在电化学除氟中的应用**王俊策¹, 马杰^{1,2*}

1. 同济大学
2. 喀什大学

摘要: 在水资源短缺日益严重的背景下, 水中超标的氟污染已经成为全球性的公共卫生挑战。氟离子的过量摄入可引发多种健康问题, 包括骨质疏松、牙齿疾病等, 因此急需有效的水处理技术来去除水中的氟离子。电容去离子(CDI)技术以低能耗、高容量、选择性高、无二次污染等优势, 引起了广泛关注, 被认为是极具应用前景的新型水处理技术之一。受氟离子电池的启发, 开发新型赝电容阳极材料是实现电容去离子深度除氟的关键。相比于转化型的电池材料, 以 MXene 为代表的二维插层赝电容材料巧妙避免了在离子嵌入/脱出过程不可逆的结构破坏, 同时具有较高的理论电容、快速的离子传输以及可控的表面功能化等。因此, 将插层材料应用于电化学除氟领域极具前景和重要研究意义。

B05-53**PDDA-modified nanoflower-like BiOCl/MXene hybrid electrode for efficient capacitive deionization dichlorination**Fei Yu¹, Jie Li¹, Qingping Wang³, Hongguang Zhu⁴, Jie Ma^{2,4*}

1. Shanghai Ocean University
2. Kashi University
3. Anhui University of Science and Technology
4. Tongji University

摘要: Currently, chloride ions in industrial water limits its reuse when extending the circulating water cycle. Therefore, it is necessary to remove Cl⁻ to ensure its effective reuse. Considering the development of new materials for efficient electrochemical chloride removal is a key issue limiting the development of capacitive deionization technology for chlorine removal. In this study, BiOCl was grown in situ on the surface of V-MXene, and then a nanoflower-like BiOCl/MXene composite was synthesized by utilizing the properties of MXene as a structure-directing agent to modulate the morphology, which exhibits superior pore structure and specific capacitance. The poly (diallyl dimethylammonium) (PDDA) modification improved the materials' specific capacitance and reduced energy consumption for dichlorination. The optimal BMP-10 exhibited superior performance for dichlorination, the maximum dichlorination capacity and rate were 161.64 mg g⁻¹ and 2.20 mg g⁻¹ min⁻¹. We found that MXene has excellent properties for exfoliation and morphology modulation of layered materials. Additionally, the electrical properties have an important influence on the electrochemical removal of chloride ions. Here we successfully synthesized an efficient electrode material with unique morphological structure for CDI dichlorination and provided ideas for structure-directing agents and electrical modulation in material design for electrochemical dichlorination.

B05-54**A green potassium citrate activation strategy via one-step synthesis of 3D porous carbon for capacitive deionization**Luwei Miao^{1*}

1. Sichuan university

摘要: Capacitive deionization (CDI) shows potential for desalination whereas exploring green and low-cost porous carbon electrodes exhibiting good desalination performance is still challenging. Herein, a green one-step carbonization-activation strategy was developed with carboxymethyl cellulose (CMC) as precursor and potassium citrate as activator to prepare CA(K)/CMC for CDI desalination. Owing to the introduction of potassium citrate, CA(K)/CMC exhibited larger specific surface area, better porous structure, more defects, and richer oxygen content. These improvements effectively accelerated charge transfer and ion transport process in CA(K)/CMC, which significantly increased the specific capacitance of CA(K)/CMC. Owing to the synergistic effect of these above properties, the optimized CA(K)/CMC-1-2 demonstrated high salt adsorption capacity (17.21 mg g^{-1} , 1.2 V , 200 mg L^{-1}) and desalination rate ($0.023 \text{ mg g}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 1.2 V , 200 mg L^{-1}), and good cycling stability. Density functional theory (DFT) calculations further verified the advantageous characteristics of CA(K)/CMC-1-2 indeed improved ions adsorption. This finding offers new insights for designing green and economical carbon-based electrodes for desalination by CDI.

B05-55

碳包覆 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 电容电极实现盐湖中高选择性提锂

周建国¹, 周宏建^{1*}

1. 中科院合肥物质研究院

摘要: 近年来, 随着锂离子电池和电动汽车的快速发展, 全球对锂资源的需求无疑大大增加。基于高选择性和低能耗的优势, 电容去离子 (CDI) 技术非常适合从盐湖中选择性提取锂资源。本文首次利用混合 CDI 装置开发了碳包覆 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (LVP@C) 阴极电极, 以其高理论容量和优异的循环能力从盐湖卤水中选择性提取 Li^+ 离子。通过电化学、X 射线光电子能谱 (XPS) 和原位 X 射线衍射 (XRD) 技术评估了 Li^+ 离子在 LVP@2C 中的电化学 (脱) 插层机理, 结果表明在基于法拉第氧化还原反应的电吸附/解吸过程中 V 价态发生了可逆转变。优化后的 LVP@2C 可提供 25.8 mg g^{-1} 的最大 Li^+ 电吸附容量, 即使在 50 次循环后仍能保持 78 的高保留率。当镁锂比高达 1:5 和钠锂比高达 1:15 时, LVP@2C 的锂选择性系数分别为 444.7 和 351.2。DFT 计算进一步表明, LVP@2C 电极的选择性电吸附机制主要归因于与 Mg^{2+} 离子相比, Li^+ 离子的水合离子半径更小, 离子扩散能垒更低。最后, 从西藏天然盐湖卤水中选择性提取锂的有效性评价表明, LVP@2C 对锂具有高度的选择性电吸收 ($\alpha(\text{Li}/\text{Mg})=187.50$, $\alpha(\text{Li}/\text{K})=136.11$, $\alpha(\text{Li}/\text{Na})=116.88$, $\alpha(\text{Li}/\text{Ca})=4.92$), 因此可作为从盐湖卤水中提取锂的潜在电极。

B05-56

V_2CF_x MXene 衍生 2D V_2O_3 @介孔碳纳米片的制备及其电容脱盐特性

张泽豪¹, 李海波^{1*}

1. 宁夏大学

摘要: 采用同源金属 V_2CF_x MXene 作为前驱体制备了三氧化二钒@多孔碳(V_2O_3 @porous carbon, V_2O_3 @PC)纳米片作为电容去离子(CDI)阳极, 研究其脱盐特性。实验探究了在不同碳化温度下 V_2O_3 @PC 的结构、结晶度、润湿性、石墨化程度和电化学特性。研究表明, 所制备的 V_2O_3 @PC 呈现出典型的 2D 纳米片结构, 高结晶度的 V_2O_3 纳米颗粒被高石墨化度的 PC 牢牢束缚。这种结构具有良好的界面润湿性和高导电性, 因而可以促进电解质的渗透, 加速界面电荷的转移以促进盐离子的传输和扩散。此外, PC 也能较好的抑制 V_2O_3 在多次循环后的体积膨胀。电化学结果表明, V 的可逆电化学转化在一定程度上提高了 Na^+ 的储存。当电压为 1.2 V 时, NaCl 电导率为 $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 时, 优化后的 V_2O_3 @PC 电极具有高达 $2.20 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的脱盐容量, $0.13 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 的脱盐速率, 62% 的水回收率以及 $24.0 \text{ Wh}\cdot\text{m}^{-3}$ 的低能耗。

B05-57

环境净化视角下的溶剂萃取技术: 稀土二次及伴生资源回收新策略

覃蕊^{1,2}, 陈继^{1,2*}

1. 中国科学院长春应用化学研究所
2. 中国科学技术大学

摘要: 稀土二次及伴生资源的回收与再利用对保护生态环境、保障资源安全和促进战略新兴产业发展具有重要意义[1]。高新技术领域的快速发展伴随着更多废弃物的产生以及稀土资源的短缺, 开发高效且环保的废弃物回收技术既可以避免环境污染, 也能实现稀土资源供应的可持续性。溶剂萃取技术由于分离选择性好和易于工业化, 被广泛应用于稀土资源回收中。本课题组针对磷矿渣、油页岩灰渣、钕铁硼废料、荧光粉、镍氢电池等二次资源的综合回收进行了一系列研究[2-4], 证明了溶剂萃取技术在稀土回收中的高效性和适用性。此外, 我们还对钪的回收萃取体系进行了深入研究, 提出了多种协同萃取体系[5,6], 有效提高了钪的回收率和纯度。这些研究成果为稀土资源的高效回收提供了技术支撑, 对促进稀土资源的可持续循环利用具有重要价值。

参考文献

- [1] Gaustad G, Williams E, Leader A, *Resources Conservation and Recycling*, 2021, 167: 105213.
- [2] Yang H, Wang W, Zhang D, et al., *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2010, 49(22): 11645–11651.
- [3] Liu C, Deng Y, Chen J, et al., *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2017, 56(26): 7551–7558.
- [4] Qin R, Chen J, Bai Y., *Separation and Purification Technology*, 2024, 350: 127914.
- [5] Zou D, Li H, Chen J, et al., *Hydrometallurgy*, 2020, 197: 105463.
- [6] Liu M, Chen J, Zou D, et al., *Separation and Purification Technology*, 2022, 283: 120223.

B05-58

Light/MIL-88A/H₂O₂ 体系高效降解水中 MCPA 性能及机理研究

龚天敏¹, 高春梅^{1*}

1. 上海海洋大学

摘要: 2-甲基-4-氯苯氧乙酸 (MCPA) 是一种对环境构成威胁的除草剂。本研究通过水热法制备 MIL-88A, 将其作为光催化剂成功实现了 2-甲基-4-氯苯氧乙酸 (MCPA) 在可见光下的高效降解。通过 XRD、XPS、TEM 以及 UV-vis DRS 等表征方法研究了 MIL-88A 的结构、形貌以及光催化性能。为了达到光催化降解 MCPA 的最佳效率, 探究了 MIL-88A 在不同条件下的光催化降解性能。结果表明, Light/MIL-88A/H₂O₂ 体系具有出色的光-芬顿催化活性, 在 pH 值为 3.8、H₂O₂ 浓度为 1.2 mL/L 和 MIL-88A 用量为 0.2 g/L 的最佳条件下, 可在 60min 内完全降解 MCPA。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 MIL-88A 具有较高的稳定性。自由基淬灭实验和 ESR 表征结果证明 MCPA 降解过程中的主要活性物质是•OH。此外, 结合 Gaussian 软件和 LC-MS 分析结果推测 MCPA 可能的降解途径。通过 T.E.S.T.软件和绿豆发芽实验对 MCPA 及其中间体的毒性进行评估, 结果表明, Light/MIL-88A/H₂O₂ 体系降解 MCPA 能够实现溶液脱毒。

B05-59

核壳 Fe₃O₄@聚吡咯@十二烷基苯磺酸钠复合材料的制备及其对水中亚甲基蓝和孔雀石绿的高效吸附

杨天行¹, 马勇^{1*}

1. 山东科技大学

摘要: 本研究通过水热、原位聚合和表面改性方法相结合合成了一种具有核壳结构的新型复合材料 Fe₃O₄@PPy@SDBS。主要目标是从水溶液中去除亚甲基蓝(MB)和孔雀石绿(MG)染料。综合研究了吸附剂类型、时间、吸附剂初始浓度和温度对 MB 和 MG 吸附行为的影响。实验结果表明, MB 和 MG 的吸附动力学均符合伪二阶动力学模型, 而等温线模型符合 Langmuir 模型。此外, 吸附为自发吸热的过程。MB

的最大吸附容量和 MG 的最大吸附容量分别为 124.07 mg/g 和 73.10 mg/g。值得注意的是,即使经过五次解吸-吸附循环后,MB 和 MG 的去除效率仍分别保持在 80%和 90%以上。这些有希望的结果归因于 PPy 和 SDBS 介导的静电相互作用、氢键和 π - π 相互作用的协同效应,以及 Fe_3O_4 赋予的磁性。因此, $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PPy}@SDBS$ 复合材料表现出作为高效且可重复使用的吸附剂的巨大潜力。除了高效的去除能力之外,这些复合材料中磁性特性和多种吸附机制的结合为吸附和分离过程的进步提供了令人信服的机会。

B05-60

煤基超亲水纤维膜的制备及其油水分离性能研究

戴娇娇¹, 徐梦姣^{1*}

1. 新疆大学化学学院省部共建碳基能源资源化学与利用国家重点实验室

摘要:近年来,受荷叶、沙漠甲虫、鱼鳞等启发,界面科学和超润湿材料得到了较大的发展,由此制备了许多可用于油水分离的超润湿材料。其中,受分离体系和分离物质的限制,超亲水-水下超疏油膜材料因其只允许水通过而阻隔油的特性,而被认为是用于油水分离的最佳选择。相较于传统材料,超亲水膜分离材料具有操作简便、分离效率高、能耗低等优点,因此其在油水分离中有广阔的应用前景。

本文以聚丙烯腈和氧化煤为主要原料,通过调控预氧化温度和时间,成功制备了煤基超亲水纤维膜。并且,将所制备的超亲水纤维膜用于多种油水混合物的分离,实验发现纤维膜均表现出良好的分离效果。其中,仅在重力驱动下纤维膜对正己烷/水的分离通量达到 $15000 \text{ L m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、同时分离效率(拒油率)也达到 99%以上。更为重要的是,在经过连续 10 次循环测试后,纤维膜的分离通量仍达到 $13000 \text{ L m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 以上。由此便说明纤维膜不但有较高的分离通量和效率,还具有优异的抗污染性和循环稳定性。此外,还进一步考察了纤维膜的稳定性,结果表明纤维膜具有良好的化学稳定性、结构稳定性、热稳定性和阻燃性。

B05-61

废旧磷酸铁锂电极材料加强的耦合脱盐提锂技术及其收益分析研究

单伟¹, 陈福明^{1*}

1. 华南师范大学

摘要:电化学氧化还原流海水淡化(RFD)是一种新兴的获取淡水的方法;然而,其氧化还原物质需要连续供应,这样昂贵的成本限制了它们的实际应用。同时,废旧锂离子电池的可持续回收与利用也是目前面临的一个严峻挑战。现有的电池回收方法往往会产生大量的二次污染。在此我们演示了一种氧化还原流系统,将氧化还原流海水淡化与回收废旧锂离子电池中的锂结合起来。该系统使用废旧磷酸铁锂(LiFePO_4)将铁氰化物 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 还原再生为亚铁氰化物 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$,进而实现锂元素提取和盐水淡化的目的。研究优化了几个关键操作参数,如电流密度、氧化还原物质的浓度、盐水的盐浓度以及 LiFePO_4 的添加量。通过连续五个批次地添加废旧 LiFePO_4 ,系统可以运行超过 24 h,并以浓度为 $6.716 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 LiCl 水溶液形式实现 70.46%的锂回收率。同时,将盐水(25 mL, 10000 ppm NaCl)脱盐为淡水。成本分析表明,该氧化还原流系统处理每公斤的废旧锂离子电池可产生约 13.66 元的收入,且能耗低($0.77 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),温室气体排放极少;与现有锂离子电池回收技术相比,具有优异的经济和环境效益。这项工作提供了一个全面应对水和能源挑战以实现可持续发展的新方法。

B05-62

g-C₃N₄/Ti₃C₂T_x 纳米材料制备 TFN 纳滤膜及其耐氯性能研究

高春梅^{1*}, 白伊铭¹

1. 上海海洋大学

摘要:减轻传统聚酰胺(PA)纳滤(NF)膜所存在的“选择-权衡”效应,并提高其抗污染能力和耐氯性能一直是 NF 膜所面临的一个重要挑战。本研究通过界面聚合法制备 g-C₃N₄/Ti₃C₂T_x 纳米材料改性的亲水耐氯

纳滤膜。 $g-C_3N_4$ 纳米片表面的纳米孔为水分子通过提供孔道的同时拦截较大盐离子。通过比较不同纳米材料负载量对膜性能的影响, 最优膜 (PACM-3) 水通量为 $10.54 \text{ L/m}^2 \text{ h bar}$, Na_2SO_4 截留率达到 97.06%。 $Ti_3C_2T_x$ 通过与哌嗪 (PIP) 之间的氢键作用, 减缓了 PIP 扩散速率, 形成了缺陷更少的选择层。 $g-C_3N_4$ 含有的 N-H 键, 为活性氯攻击提供位点, 捕获氯自由基。耐氯实验结果表明, PACM-3 膜盐截留率仅减少了 1.07%, 提高了 PACM-3 膜的抗污染性能和耐氯性。本研究为制备具有良好亲水性、抗污染以及耐氯性能的纳滤膜提供了新方向。

B05-63

生物质基多孔碳对镁锂离子的电化学筛分性能与机理研究

李常乐¹, 徐兴涛^{1*}

1. 浙江海洋大学

摘要: 海水和盐湖水等非常规水资源的高效资源利用是制约我国水资源短缺与高质量发展的难题之一。而从海水和盐湖水资源中高效筛分镁/锂离子是当今锂资源提取面临的主要瓶颈。电容去离子 (Capacitive Deionization, CDI) 是进行离子选择性提取的高效绿色电化学途径, 但在实际应用中仍然面临诸多困难。本研究拟通过简单的两步热解法来制备具有丰富微孔结构的三球悬铃木毛絮基活性碳材料。进一步进行电化学测试并组装在 CDI 装置中进行离子选择性测试, 通过对不同浓度 Mg^{2+}/Li^+ 比溶液和多离子溶液进行 CDI 吸附, 结果表明该材料具有优异的镁/锂分离性能。主要包括: 1) 生物质基多孔碳材料的制备及活化调控研究; 2) 构建 CDI 系统, 分析该材料的离子选择性吸附性能; 3) 基于分子动力学与密度泛函理论, 探究生物质基多孔碳材料的孔径结构与化学组成对电化学离子选择性的响应机理。总之, 本研究采用绿色安全、操作简便的热解法对来源广泛、低成本的生物质进行活化, 活化后的碳材料具有富微孔结构, 组装在 CDI 中具有优异的离子选择性吸附即资源富集性能。此外, 本研究可在扩展可成功用于 CDI 离子选择电极库的同时为实现选择性可调铺平了道路。

B05-64

单原子增强压电协同光降解性能研究及多物理场协同机制探索

周卢玉¹, 谢泉^{1*}, 田军龙¹

1. 贵州大学

摘要: 有机染料、抗生素在工业和生物医疗的发展中起到至关重要的作用, 但因其产生的有机废水处理问题也成为了一个挑战。多物理场协同光催化将太阳光直接转化为化学能是当前环境修复的焦点, 其中光催化材料活性位点不足、高光生电子-空穴复合严重制约了当前光催化技术的应用推广。本研究利用单原子掺杂技术结合铁电光催化材料压电效应优势, 成功实现了光催化/压电协同光催化, 同时解决了光催化材料活性位点不足和高光生电子-空穴复合这两大关键瓶颈。最终在 10 分钟内实现 RhB 的完全去除, 30 分钟内对 TC 和 CIP 的去除率也分别达到了 91% 和 70%。本研究为多物理场效应协同光催化降解应用于环境修复提供指导。

B05-65

多级结构 UiO-66@煤基纤维复合膜的制备及性能研究

许晓婷¹, 徐梦姣^{1*}

1. 新疆大学化学学院省部共建碳基能源资源化学与利用国家重点实验室

摘要: 含油废水和雾霾颗粒造成的环境污染已成为全球亟待解决的问题。超润湿膜被认为是一种很有前途的油水分离材料, 然而能同时实现油水分离和空气过滤的膜材料鲜有报道。本文采用对喷静电纺丝法成功制备了具有分离和过滤性能的 UiO-66@煤基纤维复合膜 (UCFM)。通过调控 UiO-66 纳米粒子的添加量, 构筑具有多级结构的 UCFM 复合膜。研究结果表明, 当 UiO-66 纳米粒子的添加量为 0.2 g 时, 纤维直

径和孔径大小呈双峰分布,其水下油接触角可达 165°。此外,该复合膜表现出优异的油水分离性能和循环使用性,分离通量高达 12919 L m⁻² h⁻¹ 且分离效率达 99.5%。同时,在沙砾冲击和强酸、强碱洗涤后,该复合膜仍能保持水下超疏油性,分离效率仍达到 98.4%。值得注意的是,UCFM-0.2 复合膜还表现出优异的空气过滤性能,其空气过滤效率高达 99.6 %。本工作为双功能超润湿膜的结构设计与性能提升提供了研究思路。

B05-66

Al₂O₃/AC positive electrode selective capacitance adsorption of fluoride ions in water

Hao Kong^{1*}

1. Sichuan University

摘要: Fluorine is one of the essential trace elements for human life activities, but excessive intake of fluorine can cause fluorosis such as dental fluorosis and bone deformation. In this paper, Al₂O₃/AC composite material was obtained by simple ultrasonic treatment in porous Al₂O₃ nano-dispersion solution using activated carbon (AC) as carrier. Field emission scanning electron microscopy showed that Al₂O₃ was successfully loaded on the AC surface, and 5%Al₂O₃ was uniformly distributed on the AC surface. N₂ sorption and desorption test results show that the specific surface area of Al₂O₃/AC composites is significantly increased compared with AC. The results of cyclic voltammetry, constant current charge-discharge and electrochemical impedance test show that doping Al₂O₃ can improve the ionic conductivity and specific capacitance of AC. 5% Al₂O₃/AC has the best electrical conductivity and the highest specific capacitance, which is 92 F·g⁻¹ in 7 mmol·L⁻¹Na F solution, which is 1.5 times of AC specific capacitance (62 F·g⁻¹). The results of CDI defluorination test with Al₂O₃/AC as positive electrode show that the defluorination amount of 5% Al₂O₃/AC electrode is the largest, reaching 234μmol·g⁻¹, which is much higher than that of pure AC (115μmol·g⁻¹). In addition, the 5% Al₂O₃/AC electrode has a good selective adsorption performance for F⁻. In the simulated high-fluorine groundwater containing F⁻, Cl⁻ and SO₄²⁻, 80% of F⁻, 25% of Cl⁻ and 56% of SO₄²⁻ can be removed by using three groups of CDI cells corresponding to 5% Al₂O₃/AC electrodes in series. At the same time, after ten F-adsorption and desorption cycles the fluorine removal rate can still remain 81%, which proves that 5% Al₂O₃/AC electrode has good selective adsorption and cycle stability for F⁻. The electrode material is simple to prepare and has good selectivity for defluorination. It is expected to be used in the process of CDI for the purification and defluorination of groundwater in high fluorine area.

B05-67

煤基超亲水纤维膜的制备及其油水分离性能研究

王晶晶¹, 曹淑晴¹, 赫彝珊^{1*}、王栋¹

1. 武汉纺织大学阳光校区

摘要: 随着气候问题的加剧和地球资源的短缺问题日益严重,温室气体的分离、储存和利用迫在眉睫。聚合物基膜分离技术作为一种极具发展前景的大规模高效气体分离技术,由于其低成本、节能等优点,几十年来得到了广泛的研究。金属有机骨架(MOFs)作为一种具有超高比表面积、可调孔隙结构和多功能性的新型微孔材料,常被用于混合基质气体分离膜的纳米填料,但其发展一直以来被难以单分散以及纳米粒子团聚问题制约。本文中,通过多巴胺(DA)的调节,在水溶液中制备了具有多巴胺表面修饰层的单分散 ZIF-8 (ZIF-8-DA) 纳米晶体。与常规的 ZIF-8 不同,单分散 ZIF-8-DA 的形成过程经历了三个阶段的结晶过程,形成了菱形十二面体结构。多巴胺的修饰并未改变 ZIF-8-DA 的晶型和微孔结构。将 ZIF-8-DA 分别与 PIM-1 和 Matrimid 聚合物结合构筑混合基质膜,ZIF-8-DA 与 PIM-1 和 Matrimid 聚合物均具有良好的界面,得益于 ZIF-8-DA 与 Matrimid 上基团的相互作用,以及 ZIF-8-DA 的孔隙特性,ZIF-8-DA/Matrimid 混合基质膜与原始 Matrimid 聚酰亚胺膜相比具有更高的气体渗透通量和选择性,当 ZIF-8-DA 添加量达到 40 wt.%时,H₂的渗透通量从 26 Barrer 提高到 75 Barrer,提高了 188%。同时,CO₂、N₂ 和 CH₄ 的渗透通量也

分别提高了 152%、190% 和 180%，分别达到 22 Barrer、0.87 Barrer 和 0.70 Barrer。重要的是，对于 M-ZDA 膜，气体渗透通量的增加并没有影响气体的选择性。本文阐明了纳米粒子和聚合物相之间的界面相容性对混合基质膜的气体分离性能具有显著的影响，为气体分离膜的研究提供了新思路。

B05-68

自支撑电极与流动电极耦合去离子系统

陈瑞^{1*}

1. 南方科技大学

摘要：流电极电容去离子（FCDI）技术受到了广泛关注。然而，由于流电极导电性低和能耗等因素，大规模应用一直受限。为了解决这些问题，本研究提出了一种名为两段式 FCDI（TS-FCDI）的 FCDI 系统，该系统配备了自支撑和流动电极的脱盐模块。这种分段式系统允许自支撑和流动电极同时参与离子传输，两种电极材料组成方式不同的电极区域各自具备相应的导电和传质特性，平均脱盐率可达 $113 \mu\text{g cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ 。TS-FCDI 系统显著减少了基础设施投资、设备尺寸和能源支出。在相同工况下 TS-FCDI 系统的脱盐性能大约是 FCDI 的两倍，其稳定运行可超过 50 小时。将自支撑电极与流动电极相结合，增加了装置的模块化程度，使设备更加利于实际应用。自支撑电极与流动电极的之间的耦合引发二次离子传输，两种类型的电极合并，增强了电极室内电荷的传输，有效提高了离子吸附性能。研究结果表明 TS-FCDI 系统可以作为一种大规模应用的脱盐技术。