

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

B08-矿物功能材料

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



B08. 矿物功能材料

分会主席：杨华明、梁金生、杨绍斌、金胜明、杜慧玲

B08-01

煤基矿物功能材料应用进展

赵国强

中国地质大学（武汉）

煤炭是我国能源压舱石，能源消费结构占比逐年下降，但消费总量居高不下。煤炭作为我国主体能源，在新时代发展背景下要按照绿色低碳的发展方向，对标实现碳达峰、碳中和目标任务，推进煤炭消费转型升级。提高煤炭作为化工原料的综合利用效能，促进煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展。煤基矿物功能材料主要包括煤基碳功能材料、煤系高岭土功能材料、煤基固废功能材料以及煤资源中有价元素的回收等方面。本研究探讨煤基功能材料的发展及其主要应用领域，旨在促进煤炭资源的高质量发展。

B08-02

玄武岩纤维基功能材料的制备

李红超

河北地质大学

以价格低廉、环境友好的玄武岩纤维布（BFC）作为油水分离膜的基底材料，研究了三种不同玄武岩基复合材料。首先， TiO_2 为修饰层，通过溶剂热法制备了具有超亲水/水下超疏油的 TiO_2/BFC 分离膜，对 TiO_2/BFC 的油水分离性能、柔性、机械稳定性、粘附性及光催化膜再生性进行了评估；其次，在 BFC 上成功生长了含有氧空位（OVs）的 BiOI 纳米花（0.6–1.2 μm ），相较于大尺寸 BiOI 纳米花（1–5 μm ），制备的 BiOI 纳米花对 RhB 表现出更高的光催化活性；最后，利用 BFC 的耐高温特性，优化了 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ 负载型光催化剂的制备方法，创新性采用一步热聚合法制备了 $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{BFC}$ 复合材料，再通过溶剂热法制备了 BiOI/ $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{BFC}$ 复合材料，克服了单一催化剂光催化活性低的问题。结果表明，BiOI/ $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{BFC}$ 对 RhB 降解效率达到 87.63%，分别是 $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{BFC}$ 和 BiOI/BFC 的 2.64 倍和 1.25 倍。经过 4 次循环使用后，依旧具有 68.31% 的降解效率。

B08-03

有机/无机改性粘土矿物及其选择性吸附机理

原伟泉

赣南科技学院

选择性吸附法实现水中金属离子的分离是一种绿色高效的方法，强选择性、高吸附量、结构稳定的吸附材料设计是关键。粘土矿物是极具潜力的吸附材料制备原料，天然粘土矿物吸附容量低、速率慢、选择性差，有机/无机改性是一种有效提升其吸附性能及选择性的方法之一。本工作研究了过渡金属硫化物壳聚糖、 MoS_2 、 ZnS 等有机/无机功能组分原位负载于高岭石和埃洛石纳米管上，并开展了复合材料对重金属离子、稀土离子等的选择性吸附分离性能及机理研究。通过有机和无机组分的负载，复合材料对重金属离子表现出优异的吸附性能。其中活性 S 基团、有机无机组分间的协同作用、功能组分与粘土矿物基底的协同作用等是实现高效吸附的重要作用机理。相关工作的开展为我国离子型稀土选择性吸附除杂提供了新的策略。

B08-04

构建具有有序不对称结构的双 S 方案异质结以增强抗生素降解

任姣雨

中国矿业大学

异质结中组分的无序分布增加了电荷载流子内部复合的可能性，从而降低了光催化效率。本研究提出了一种 $\text{TiO}_2/\text{赤铁矿}/\text{CNMn}$ 双 S 方案异质结的设计。作为光催化剂，该异质结具有定制的堆叠顺序。该催化剂具有降解 H_2O_2 并实现自推进的能力，在 $0.1\%\text{H}_2\text{O}_2$ 和光照条件下的运动速度为 $47.8 \pm 4.6 \mu\text{m/s}$ 。催化剂的自主运动提供了搅拌效果并提高了传质系数。此外，所构建的双 S 方案异质结中积累的电子和空穴可以按照异质结构建顺序转移电荷载流子，从而改善电荷载流子分离。同时，光催化和芬顿氧化的协同作用为自由基的产生提供了多种途径。这些有利性能的结合使合成的催化剂能够在 30 分钟内降解 $89.2 \pm 1.3\%$ 的抗生素。这项研究强调了有序结构和传质效率如何影响降解过程。所制造的异质结微电机在分解抗生素方面表现出显著的耐用性和有效性。

B08-05

 $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{C}$ 纳米管材料的合成与电化学性能研究

王学雷

辽宁工程技术大学

钴镍基材料因其高理论比容量和良好的电化学稳定性，在超级电容器领域展现出广阔的应用前景。然而，其较低的电导率限制了其进一步的应用。本文采用气流同轴静电纺丝技术和一步溶液反应，成功制备了具有双壁中空结构的钴镍基纳米管。研究表明，纺丝参数、碳纳米管的引入对材料的结构和性能具有显著影响。碳纳米管的引入有效提高了材料的电导率和反应速率，而多孔结构则优化了离子传输效率。经过优化的复合材料展现出优异的比电容、循环稳定性和倍率性能，为高性能电极材料的设计提供了新的思路。采用传统静电纺丝法制备了聚丙烯腈（PAN）模板，并通过单次水浴法在模板上合成了中空结构的 $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{C}$ 纳米管。研究发现，镍钴比和 PAN 浓度对纳米管的形貌和电化学性能有显著影响。以 12wt% PAN 浓度的基底，水浴镍钴摩尔比为 1:2 进行水浴处理，进一步采用气流辅助同轴静电纺丝法制备了双壁中空结构的 $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{C}$ 纳米管。其比电容在 1A/g 下提升至 437.5F/g ，显著优于单层结构。性能提升归因于双壁结构带来的活性位点增加和离子传输通道的优化。该研究为 $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{C}$ 电极材料的设计提供了新的思路。通过调控聚丙烯腈（PAN）浓度和水浴时间，成功制备了具有不同形貌特征的 $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{C}/\text{C}$ 纳米管，并对其电化学性能进行了系统研究。随着 PAN 浓度的增加，纳米管的形貌从针状海胆结构转变为均匀的纳米片层结构。在 12wt% PAN 浓度下，纳米管的比电容高达 458.49F/g ，表现出优异的电荷转移速率和循环稳定性。发现 8h 水浴过生长，通过调控水浴时间，发现水浴时间为 4h 的样品具有完整的海胆状结构，比电容高达 672.38F/g 。该研究为高性能 $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{C}$ 纳米管的制备提供了重要的参考。

B08-06

煤矸石全元素高值化利用关键技术与产业化

彭龙贵

西安科技大学

煤矸石作为煤炭开采产生的固体废弃物，其大规模堆存会引发严重的环境污染与土地资源浪费。本研究提出“煤矸石全元素高值化利用”技术体系，通过除碳、破碎、分级整形等核心工艺，将煤矸石转化为矸石骨料、矸石砂、煤矸石粉三类分级产物，之后将这三类产物用于开发混凝土、路基材料、吸附材料、充填材料及生态修复材料等多类高值化产品。课题团队通过科学配比和工艺优化，自主研发了包括煤矸石专用外加剂、喷注浆一体料、硅肥等一系列煤矸石高值化利用关键材料。产业化实践证明，煤矸石高值化

利用不仅能实现固废减量化、资源化和无害化处理，还能有效降低建材产业碳排放，创造显著经济和环境效益。课题团队凝练的技术路线和商业模式，对推动我国煤矸石资源从“废弃物”向“宝贵资源”的转变具有重要参考价值，为煤炭产业绿色低碳发展提供新的解决方案。

B08-07

典型黏土矿物基固态电解质研究

刘 昊, 蒋 迪, 韩章阔, 周树森, 吕国诚, 廖立兵
中国地质大学(北京)

固态电池因安全性好、理论能量密度高、不泄露、无记忆效应等优点，被人们寄予厚望以彻底缓解能量密度焦虑，并成为当下电池领域的研究热点。然而基于聚环氧乙烷(PEO)、聚偏氟乙烯(PVDF)等聚合物的电解质其室温离子电导率较低、热稳定性较差，无法满足固态电池实际应用需求。蒙皂石族黏土矿物基本晶胞单元由硅氧四面体层(T)和铝氧八面体层(O)呈“TO”或“TOT”型堆垛构成。因类质同象置换作用，其结构层荷负电，层间充斥大量电荷补偿性可交换碱金属阳离子，有望用作快离子导体材料。鉴于此，本团队设计并构建了黏土矿物基固态电解质，主要研究包括：(1)以锂化蒙脱石和凹凸棒石为主体材料，加入聚氧化乙烯作为粘结剂，通过溶液共混和冷压相结合的方法制备了具有互穿黏土矿物网络基质的矿物基固态电解质。基于该复合电解质制备的Li/LiFePO₄固态电池具有优异的放电比容量和循环稳定性(在0.5 C、60°C下可稳定循环500圈，容量保持率为94.1%)；(2)利用丁二腈实现蒙脱石的层间改性，通过静电纺丝制备出具有3D纤维结构PVDF-HFP/SN-MMT固态电解质薄膜，借助热聚合实现原位聚合。在LFP/Li电池中，1C下循环1000次后容量仍保持在120mAh g⁻¹。在对锂电池中，0.1mA cm⁻²下能够稳定循环3000h以上；(3)通过将锂皂石与PEO及少量离子液体复合，制备了矿物基固态电解质，展现出优异的热稳定性和机械强度。组装的Na/Na₃V₂(PO₄)₃电池在0.1C、60°C下实现了101mAh/g的比容量，表现出良好的电化学性能。以上结果表明天然矿物在固态电池电解质中具有良好的应用潜力。

B08-08

碳微孔内Li⁺/Na⁺/K⁺去溶剂化机制第一性原理计算研究

张 旭, 杨绍斌, 唐树伟, 刘雪丽, 夏英凯
辽宁工程技术大学材料科学与工程学院

电化学双层电容器(EDLCs)由于其良好的功率密度和较好的循环性能已经成为储能领域的研究热点。以煤炭或天然石墨等矿物质为原料制备的多孔炭、石墨烯等材料作为EDLCs的电极材料具有良好的应用前景。碳微孔内离子去溶剂化可以显著提高电容量，但是针对特定的碱金属离子(Li⁺、Na⁺和K⁺)，去溶剂化精确孔径及孔隙结构对去溶剂化的影响机制尚不清楚，而这对碱金属离子与电极材料内孔隙结构的精确匹配至关重要。由于实验设备目前还无法有效观察到离子的去溶剂化过程，而实验中还无法精确制得一定尺寸的特定孔结构碳微孔，因此采用基于密度泛函理论(DFT)的第一性原理计算方法进行微孔去溶剂化研究则显得至关重要。我们首先采用本征双层石墨烯(BG)和少层石墨烯模型分别模拟碳微孔中的基面平板孔、端面孔，以及混合孔，然后模拟了氮、磷、硼掺杂以及官能团化基面平板孔，研究了水溶液中溶剂化Li⁺、Na⁺和K⁺ ([Li(H₂O)_n]⁺、[Na(H₂O)_n]⁺、[K(H₂O)_n]⁺, n=1~4)在微孔内的去溶剂化行为。

B08-09

X-Sialon 和 SiC 增强硅-刚玉-电熔莫来石复合材料生成机理分析

岳 茜
河北地质大学

X-Sialon 和 SiC 增强的刚玉-电熔莫来石复合材料成功合成通过将硅-刚玉-电熔莫来石复合材料在 1600 °C 下氮气气氛中烧成。反应机制如下:在试样外部,金属硅与气氛中微量的 O₂ 发生被动氧化生成 SiO₂, SiO₂ 与 Al₂O₃ 反应生成莫来石。新生成的莫来石呈长柱状填充在试样外部,相当于气体滤网,促使试样内部的氧分压处于一个极低的状态,以保证试样内部硅氮化反应的进行。由于莫来石和 X-Sialon 结构的相似性,高温下,新生成的 Si₃N₄ 极易与莫来石反应生成 X-Sialon。试样内部,硅逐渐由被动氧化转变为活性氧化生成高活性的 SiO(g),造成体系氧分压进一步降低。高温低氧条件下,莫来石发生分解,释放出 SiO(g),进一步促进体系中 SiO(g)分压的增大。同时,这也体现出高钛电熔莫来石的不一致熔特性。体系中存在的大量 SiO(g)进一步参与了 X-Sialon 的生成,使得 X-Sialon 呈现阶梯状生长条纹。SiO、Si 与酚醛树脂残碳反应生成了晶须状或者粒状的 SiC。

B08-10

Ni₃S₂/Mo₃S₄/MnS 复合材料的原位合成及电容性能

李明伟, 杜梦蝶, 邹昱涵, 杨芳
辽宁工程技术大学材料科学与工程学院

以聚乙烯吡咯烷酮(PVP)作为生长以调节剂与表面活性剂,分别在两种方法预处理的泡沫镍上合成了 Ni₃S₂/Mo₃S₄/MnS 硫化物纳米复合材料。研究表明泡沫镍是否酸化以及 PVP 添加量均对电极材料形貌及电容性能有显著影响。其中电容性能最佳的 PVP 添加量为 0.2 克的酸化预处理泡沫镍上合成 Ni₃S₂/Mo₃S₄/MnS 硫化物纳米复合材料在 1 A g⁻¹ 电流密度下的比电容为 3184F g⁻¹,在 10 A g⁻¹ 电流密度下经过 5000 次恒流充放电后比电容仍然保留到初始值的 84%。而常规清洗泡沫镍上合成的 Ni₃S₂/Mo₃S₄/MnS 复合材料,在 1 A g⁻¹ 电流密度下的比电容仅为 2188 F g⁻¹。以酸化处理泡沫镍上制备的 Ni₃S₂/Mo₃S₄/MnS (正极)和活性炭(负极)组装成的电池-超级电容器混合(BSH)装置在 800 W kg⁻¹ 的功率密度下具有 84.3 W h kg⁻¹ 的显著能量密度,在 10 A g⁻¹ 电流密度下 5000 次循环之后的电容保持率达到 95%。

B08-11

矿物基电磁屏蔽和吸波材料的研究进展

左小超¹, 唐异立², 杨华明¹

1 中国地质大学(武汉)纳米矿物材料及应用教育部工程研究中心

2 中南大学资源加工与生物工程学院

随着 5G 通信、物联网及高端装备的快速发展,电磁屏蔽与吸波材料在抑制电磁污染和提升隐身性能方面面临轻量化、宽频带及环境稳定性等多重挑战。本文系统综述了矿物基电磁功能材料的研究进展,重点探讨了天然矿物的结构特性与电磁响应机制间的构效关系。矿物基材料通过多级孔隙设计延长电磁波传播路径、界面极化调控优化阻抗匹配,以及磁-介电协同损耗提升能量转化效率,在轻量化与宽频吸收方面展现出显著优势。相较于传统金属与碳基材料,矿物基体系不仅突破密度与频带限制,更通过表面活性位点与晶体缺陷的定向调控实现性能可设计性。当前研究已证实梯度结构构建与多机制协同可有效拓展吸收带宽并增强环境适应性,但矿物晶体缺陷对电磁参数的定量影响、高频段损耗机理及规模化制备工艺仍是亟待突破的瓶颈。未来研究需融合多尺度模拟、动态响应材料设计与绿色制造技术,推动矿物基材料在柔性电子、智能隐身及高频通信等领域的工程化应用,为新一代电磁防护技术提供可持续解决方案。

B08-12

不同直径磨球调控硅粉粒径及电化学性能研究

张 勇, 荆 旭, 贺体强

辽宁工程技术大学材料科学与工程学院

硅负极材料凭借其极高的理论比容量 (4200 mAh/g) 成为提升锂离子电池性能的关键因素, 但其在嵌锂过程中巨大的体积膨胀 (>300%) 会导致结构破坏和容量快速衰减, 严重阻碍其实际应用。硅纳米化可有效缓解体积膨胀并提升循环稳定性, 球磨技术是实现低成本、规模化制备纳米硅的重要手段。为了探究球磨技术对硅纳米化的作用机制及其对纳米化后电极电化学性能的影响, 本文采用理论计算与实验验证相结合的方法, 利用第一性原理计算软件构建硅晶胞的嵌锂模型和 Li_xSi 合金相与硅的界面结构模型, 分析 Li_xSi 合金相的转化趋势; 采用行星式球磨机制备硅纳米材料, 阐明不同直径磨球及其组合对硅粉粒径的调控机制; 通过组装锂离子电池探究不同粒径分布范围硅粉对电极电化学性能的影响。

硅在嵌锂后最易形成结构性质最稳定的 Li_7Si_3 结构, 其形成能为 -1.50 eV; 硅与 Li_xSi 合金相界面结合后最易形成结构性质最稳定的 $\text{Li}_{12}\text{Si}_7$ 结构, 其形成能为 -0.89 eV。 Li_xSi 合金相的相变趋势表明, 硅的纳米化可以影响锂与硅的形成物相, 继而影响体积收缩和膨胀, 有效改善其体积效应。在针对 1 μm 硅粉原料的单一直径球磨中, 直径较大的 5 mm 磨球会因其间隙较大而降低有效碰撞次数, 直径较小的 0.1 mm 磨球则会导致破碎力不足; 先后球磨能有效球磨出 200 nm 及以下硅粉, 但因分段破碎导致整体粒径呈双峰分布, 均匀性较差; 组合球磨可以使不同尺寸磨球同时作用, 因此粒径分布更为均匀, 但当磨球间的直径差异过大或磨球种类超过两种时则效果不佳; 先后组合球磨可以有效使粒径细化且均匀统一, 其中先 5 mm 后 2+0.3 mm 磨球组球磨后粒径下降 88.29%, 200 nm 及以下硅粉占整体的 39.95%。

球磨后的小粒径硅粉与原料相比虽因比表面积增大导致首次库伦效率降低, 但能有效改善循环稳定性; 粒径均匀分布的先 5 后 2+0.6 mm 磨球组球磨硅粉能抑制应力集中和 SEI 膜过度生长, 降低不可逆锂损失, 100 次循环后放电比容量保持为 59.57 mAh/g, 优于粒径相近但分布不均的硅粉。不同粒径分布范围的硅粉结果表明小粒径且均匀分布的硅粉具有更好的电化学性能。其中先 5 mm 后 2+0.3 mm 磨球组球磨硅粉的首次放电/充电比容量分别为 1777.54 mAh/g 和 818.94 mAh/g, 与最稳定界面相 $\text{Li}_{12}\text{Si}_7$ 的理论质量比容量 1635.91 mAh/g 相近, 经过 100 次循环后仍保有 87.77 mAh/g 的放电比容量。

B08-13

铁改性累托石复合材料的制备及其除磷性能研究

陈洪运

中国地质大学 (武汉)

针对我国富营养化水体磷污染治理这一重大环境课题, 基于黏土矿物功能化改性的前沿方向, 系统开展天然累托石基磷酸盐高效去除材料的构筑及作用机制研究。研究以湖北钟祥产累托石为核心原料, 充分发挥其二维纳米片层暴露的丰富表面羟基位点、层间域可调变的离子交换容量以及介孔主导的多级孔道结构。通过环境友好型铁活性组分的精准负载与结构调控, 成功制备了铁改性累托石复合材料。研究采用多尺度表征技术解析了矿物材料的表界面化学特性与微观结构演变规律, 深入阐明了二维片层构效关系与磷酸盐吸附-沉淀协同作用机制, 为黏土矿物基环境功能材料的定向构筑及其在水体磷污染治理工程中的规模化应用提供了理论依据与技术支持。

B08-14

宽 pH 下煤基多孔碳材料的氧还原电催化性能研究与活性溯源

白沛瑶, 齐佳伟, 徐朗

中国矿业大学

本研究通过多种策略制备了中高阶煤基多孔碳催化剂，并系统研究了其在不同 pH 条件下的氧还原反应（ORR）性能。实验结果表明，最佳的煤基多孔碳催化剂在 0.1 M KOH、0.5 M H₂SO₄ 和 0.1 M 磷酸盐缓冲溶液中展现出优异的 ORR 性能，其起始电位、半波电位和极限电流密度等关键指标均与商业铂/碳催化剂相当，甚至在某些方面表现更优。此外，该催化剂还具有良好的电流稳定性和耐甲醇性。通过球差校正扫描电镜、XPS、Raman 光谱等表征手段，深入分析了催化剂的表面组成、缺陷特征和微观结构，揭示了其优异性能的根源在于合理的孔结构、适宜的掺杂浓度和分布以及丰富的缺陷和边缘位点。这些因素共同作用，为氧还原反应提供了大量的活性位点和快速的质量传输通道。借助理论计算结合原位红外光谱，明晰了界面上电催化氧还原反应的电子转移机制，追溯了宽 pH 下的煤基多孔碳材料活性来源，给出了各位点的活性-pH 关系图。本研究不仅为煤的清洁利用提供了新途径，也为设计高性能、低成本的非贵金属 ORR 催化剂提供了相关理论依据和实践指导。

B08-15

猪粪基功能型催化剂制备及其在水体新污染降解研究

江 飞，曹旭，郑智博，章 萍

南昌大学资源与环境学院

摘要内容...猪粪作为典型的畜禽养殖废弃物，其高值化利用成为农业固废处置的可持续发展关键挑战。基于上述思考，本研究立足于“以废治污”理念，利用猪粪作为前驱体，开发出猪粪基功能型催化剂的制备方法，并系统评价其在水体新兴污染物降解中的应用潜力。本研究采用“水热-热解”联用策略对猪粪进行高值资源化转化。通过优化热解温度、过渡金属负载量等关键参数，成功制备出具有高催化活性的猪粪基功能型催化剂。以新兴污染物双酚 A（BPA）为目标污染物考察其活化过一硫酸盐的催化降解性能。实验结果表明，猪粪基功能型催化剂在不同反应条件下（催化剂投加量、氧化剂浓度、pH 值等），BPA 在 10 分钟内即可实现近 100% 的高效降解，并实现对 BPA 的高度矿化（>90%）。本研究工作表明，将猪粪转化为高附加值的功能型催化剂，为农业废弃物的资源化利用提供了新途径；所制备的猪粪基功能型催化剂在活化过硫酸盐降解水体新兴污染物方面展现出高效且环境友好的特性，为解决水体新污染问题和实现“变废为宝”的双重目标提供了有前景的技术方案。该研究结果对推动绿色水处理技术的发展及循环农业的实践具有重要的理论和应用价值，同时对新兴污染物治理具有广阔应用前景。

B08-16

基于硅酸盐黏土矿结构调控的功能材料研究

田光燕

河北工业大学

为响应国家在资源高效利用、环境保护和先进材料发展的战略需求，本研究以天然硅酸盐矿物（海泡石、凹凸棒石和蒙脱石）为基础，通过精准调控晶体结构，成功构建了具有分级介孔结构的高性能硅酸盐材料。该材料不仅展现出优异的吸附性能，还通过金属离子的选择性嫁接，实现了高能量密度和长循环寿命的超级电容器电极材料制备。此外，基于金属纳米颗粒的限域封装策略，进一步开发出高效纳米限域催化材料，在有机污染物降解中表现出卓越的催化活性和长效稳定性。本研究的研究成果可深化对硅酸盐矿物结构-性能关系的理解，为其高值化利用提供了理论依据，同时为新能源存储、绿色化工和环境治理等领域的实际应用提供了技术参考。

B08-17

高效无铅钙钛矿太阳能电池的理论设计

杨伟强

辽宁工程技术大学材料科学与工程学院

本报告聚焦于无铅钙钛矿太阳能电池的创新研究，旨在提升其效率、稳定性和经济性。介绍了一种基于 Cu 基双钙钛矿的太阳能电池设计，该设计针对高原地区强紫外线辐射和长日照环境，展现出优越的光电性能。采用密度泛函理论（DFT）计算了 Cu 基双钙钛矿的光电性能，并优化了器件结构。优化后的器件在电子传输层厚度为 450 nm，钙钛矿层厚度为 600 nm，空穴传输层厚度为 30 nm 时，获得了 25.62% 的高光电转换效率。即使在 400 K 的高温环境下，该器件仍能保持超过 80% 的填充因子和超过 20% 的转换效率。还设计了一种基于碳的 Ag、Bi 双钙钛矿太阳能电池，并通过引入梯度结构进一步提升器件性能。这种新型结构通过优化吸收层厚度、梯度掺杂、缺陷密度等参数，不仅实现了高达 18.21% 的转换效率，还展现出对缺陷的高容忍度。与传统钙钛矿太阳能电池相比，这种新型结构无需空穴传输层，显著降低了制造成本和复杂性。这些研究成果不仅为钙钛矿太阳能电池的商业化应用提供了重要的技术路径，也为未来可持续能源解决方案的发展提供了新的思路 and 方向。

B08-18

电气石颗粒微场效应及其对纳米晶合成的影响研究

张 娜^{1,2}, 张 红^{1,2}, 梁金生^{1,2}

1 生态环境与信息特种功能材料教育部重点实验室（河北工业大学）

2 河北工业大学能源与环保材料研究所

电气石是一种典型的功能性非金属矿物，主要由硅、铝、硼、镁、铁、锂等元素构成，具有天然的自发极化性、发射远红外性、压电性、热电性和磁性等特殊性能，会在其表面区域产生电场、远红外场和磁场等微场效应。电气石的微场效应不仅在纳米材料合成领域表现出独特的调控潜力，也在人体健康和环境保护领域表现出广阔的应用前景。本工作研究了电气石颗粒的微场效应及其调控方法，并利用电气石的微场效应制备了纳米 LaFeO₃ 等电气石矿物功能材料。研究表明，粒径为 500 nm 的铁电气石颗粒的自发极化强度为 0.0109 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ，表面存在 $6.76 \times 10^6 \text{ V/m}$ 的电场，远红外发射率为 0.894，饱和磁化强度为 9.39 emu/g。电气石微场效应可以调控溶液体系中纳米晶形核-生长动力学机制，精准控制 LaFeO₃ 等的颗粒尺寸、空间分布和晶面的择优生长。电气石的表面电场可定向引导带电离子的迁移，使颗粒分布均匀；增加晶粒的成核自由能，降低扩散激活能，从而提高成核速率并抑制晶核的生长速率，使颗粒细化。通过理论模拟计算进一步揭示了电场效应对纳米晶颗粒尺寸的影响，构建了电场强度与纳米晶形核生长的定量构效关系，为电气石矿物材料的高附加值、功能化利用提供了理论性指导。此外，电气石产生的远红外场可活化水分子，降低体系表面张力，促进水分子的电离并增加溶解氧含量，有效提升 LaFeO₃ 等材料的光催化降解效率；电气石的固有磁性有利于实现材料的回收与重复利用，为开发高性能的电气石环保矿物功能材料奠定了基础。

B08-19

元素种类对 Pt 基高熵合金结构和性能的影响

吴 纯^{1,2,3}, 赵强^{1,2}, 王宇哲^{1,2}, 马志强^{1,2}, 黄梦瑶^{1,2}, 董丽娜^{1,2}, 孟超^{1,2}, 董世知¹

1 辽宁工程技术大学材料科学与工程学院

2 辽宁工程技术大学鄂尔多斯研究院

3 材料各向异性与织构教育部重点实验室(东北大学)

Pt 基高熵合金是清洁能源用低成本高效电催化剂的可靠选择之一，合理选择构成元素是降低成本与优

化性能的关键。本文将计算与实验研究相结合,采用第一性原理分析了合金元素对 Pt 基高熵合金电子转移、d 带中心、电催化过程过渡态迁移势垒等的影响。采用绿色便捷的固相反应法制备 Pt 基高熵合金纳米粒子催化剂,研究了合金元素对成分、尺寸、晶体结构、电催化活性与稳定性的影响。本研究为开发低成本高效 Pt 基高熵合金电催化剂提供元素参考,为高熵合金纳米粒子的宏量制备提供工艺基础。

B08-20

副产石膏晶面工程及其在复合材料中的应用

董雄波, 余坤, 杨华明

中国地质大学(武汉)纳米矿物材料及应用教育部工程研究中心

全国磷石膏的消纳比例仍较低,其应用领域以水泥缓凝剂、石膏砌块等低附加值制品为主。亟需加快磷石膏基高附加值新产品和相关技术的研发,推动磷石膏的大宗化、高附加值应用。但是,我国磷石膏净化制备高附加值制品起步较晚,缺乏磷石膏组构精准调控技术。团队聚焦磷石膏组构精准控制难、调控机制不明等关键科学及技术问题,采用实验、理论计算和机器学习辅助磷石膏基复合材料的高效设计,开发了界面调控、微结构调控、晶面调控、结构应变调控等磷石膏组构精准调控技术,研发了磷石膏基聚丙烯复合材料、抗菌复合材料、透波复合材料等高附加值产品,结合原位实验、微结构解析、密度泛函计算、分子动力学模拟等手段,从原子、电子尺度深入解析了磷石膏组构精准调控过程及其对性能的提升机制,系统探究了磷石膏在复合材料、新型建材、个人防护、车载雷达等领域应用的可行性,旨在解决长期制约磷石膏制备高附加值制品的技术瓶颈。

B08-21

蒙脱石调控锰 d 带中心强化级联反应活性治疗炎症性肠病

汪 浩, 刘倩倩, 杨华明

中国地质大学(武汉)纳米矿物材料及应用教育部工程研究中心

炎症性肠病的病理微环境中活性氧过度积累是导致肠道屏障损伤的关键因素,亟需开发高效抗氧化纳米催化剂以调节氧化还原稳态。本研究通过蒙脱石调控 MnO_{2-x} 的电子结构,设计了一种具有高催化活性的纳米酶复合体系,用于高效清除活性氧并缓解炎症性肠病症状。蒙脱石独特的层状结构及表面富电子特性可优化负载金属纳米颗粒(如 MnO_{2-x})的 d 带中心位置,增强其对过氧化氢和超氧阴离子的催化清除能力。密度泛函理论计算表明,MMT 的电子供体效应显著降低纳米材料催化反应能垒,提升抗氧化酶的类过氧化氢酶-类超氧化物歧化酶级联反应活性。体外实验证实纳米酶复合材料在炎症微环境中可有效中和活性氧,抑制巨噬细胞 M1 极化,并降低促炎因子表达水平。小鼠肠炎治疗模型的结果表明,纳米酶复合材料口服递送后靶向富集于结肠病变部位,发挥抗氧化治疗作用,有助于恢复肠道微生态。该研究为基于黏土矿物调控电子结构的纳米酶设计提供了新思路,在 IBD 治疗领域展现出良好的转化潜力。

B08-22

N235 改性沸石吸附钒离子研究

康 倩

河北地质大学

钒广泛用于冶金、化工等领域,但废水中钒的排放会造成环境污染,同时造成钒资源的流失。沸石的多孔结构使其成为一种有效的吸附剂,但是存在吸附容量有限,选择性不足等缺陷。N235 是一种有机胺类萃取剂,可与钒离子形成稳定络合物。N235 改性后的沸石既具有沸石的高比表面积又具备了 N235 的高选择性,兼具吸附容量与选择性。本研究使用 N235 对合成方沸石进行改性,最佳改性条件为 N235 浓度 30%,改性时间为 1 h,采用改性最佳条件下得到的沸石作为吸附剂,吸附溶液中的钒离子。考察了溶液

pH 值、时间、液固比和初始钒浓度对吸附的影响,发现在 pH 值为 2,时间为 60 min,固液比为 1:100,初始钒浓度为 0.1mol/L 时,去除率最高,为 89.20%。FT-IR 和 BET 测试表明 N235 会吸附到沸石上,并强化沸石对钒离子的化学吸附。本实验以常见的钒萃取剂 N235 为有机改性剂对沸石进行改性,并吸附钒离子,为含钒溶液的富集及废水中钒离子的去处提供了可选择性的新方法。

B08-23

多源固废制备轻质多孔材料的烧结机理及性能研究

张彩虹^{1,2}, 孟军平^{1,2}, 韩筱玉^{1,2}, 梁金生^{1,2}

1 生态环境与信息特种功能材料教育部重点实验室(河北工业大学)

2 河北工业大学能源与环保材料研究所

铁尾矿和钼尾矿是铁、钼金属选矿业所产生的固体废弃物,大量尾矿堆积不仅占用土地,而且威胁周边环境安全。平板玻璃磨削加工过程中产生大量废玻璃粉,其处置问题一直是制约玻璃加工行业发展的重要原因。铁尾矿、钼尾矿和废玻璃粉主要由硅酸盐矿物和石英组成,有望成为无机非金属材料工业原料的替代资源。本工作利用铁尾矿、钼尾矿和废玻璃粉的硅酸盐组成特点及成分互补特性协同烧结制备轻质多孔材料,研究了三种固体废弃物的协同烧结机理及铁尾矿和废玻璃粉对于轻质多孔材料的物理和力学性能影响。结果表明,在高温烧结过程中,废玻璃粉和铁尾矿中的闪石首先熔融产生初生液相,随后钼尾矿中的石英和长石矿物在初生液相的影响下开始熔融,产生大量高温液相。碳化硅表面致密的氧化层受到高温液相侵蚀,反应速率加快,产生大量气体,其被高温液相包裹形成丰富的孔隙结构。铁尾矿和废玻璃粉的添加能够降低产生的高温液相的粘度,减小气孔生长的阻力,使试样的孔隙率和平均孔径增大,从而降低轻质多孔材料的体积密度。铁尾矿和废玻璃粉熔融提供了大量的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,促进了体系中透辉石的析出,有利于轻质多孔材料力学性能的提升。当钼尾矿、铁尾矿和废玻璃粉的比例为 6:2:2,烧结温度为 1120°C 时,轻质多孔材料的体积密度为 427.2 kg/m³,抗压强度为 5.03 MPa,吸水率为 0.3%。所制备的轻质多孔材料孔结构丰富且多为闭孔,密度低而力学性能优异,在建筑保温隔热、隔音领域有良好的应用前景。本工作拓展了制备轻质多孔材料的原料选择的范围,也为钼尾矿、铁尾矿和废玻璃粉的大宗利用提供了一条新的思路。

B08-24

生物炭/矸石复合材料的共热解制备及重金属离子竞争吸附研究

张晟榕, 李鑫鑫, 杜慧玲

西安科技大学

针对煤矸石等煤系固废资源化利用率低、环境压力大,以及工业废水中重金属离子污染治理需求迫切的双重挑战,本研究致力于开发绿色低碳解决方案。传统改性生物炭吸附剂存在化学二次污染风险,而煤矸石高值化应用面临技术单一、附加值低等瓶颈,亟需创新突破。本研究提出全国废协同资源化策略:通过煤矸石与生物质固废(小麦秸秆)共热解技术,构建生物炭/煤矸石复合吸附剂(ACG-WS)。该材料同步优化孔隙结构与表面官能团(-OH/-Si-OH),并基于密度泛函理论(DFT)模拟了吸附过程中的相互作用。结合吸附实验与动力学、热力学拟合结果,提出 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Cd^{2+} 在 ACG-WS 上的竞争吸附顺序为 $\text{Pb}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Cd}^{2+}$,该结论与竞争吸附实验结果相符。主要吸附机制为重金属离子与吸附剂表面含氧官能团的络合作用,其中-OH 和-Si-OH 在吸附过程中起主导作用。本研究为固废中重金属离子治理提供了技术支撑与理论计算依据。复合吸附剂性能显著提升:单离子吸附容量较原始生物炭提高约 50%(Pb^{2+} : 62.173 mg/g, Cd^{2+} : 75.966 mg/g, Cr^{3+} : 32.445 mg/g),多离子竞争体系下对重金属去除率仍超 90%。该技术既为煤矸石高值化利用提供新途径,又为重金属废水治理提供理论支撑与环保解决方案。

B08-25

铝热还原黏土矿物制备硅基负极材料及性能研究

沈 丁, 牛建强, 董 伟, 杨绍斌

辽宁工程技术大学材料科学与工程学院

硅基材料因具备 4200 mAh/g 的高理论比容量、低工作电压 ($< 0.4 \text{ V vs. Li/Li}^+$) 以及资源丰富等优点, 在下一代锂离子电池负极材料领域中得到了广泛关注。然而, 硅负极材料在充放电过程中会发生超过 300% 的体积膨胀导致电极材料粉碎, 限制了其大规模实际应用。近年来, 通过纳米结构化设计和碳基复合方法可以有效缓解硅负极体积膨胀, 然而传统制备方法繁琐、成本高, 并且反应条件难以控制。因此, 需要寻找和开发一种来源广泛、价格低廉的原料以及简便的制备工艺。本文采用低温铝热还原法, 选用不同黏土矿物作为原料合成硅材料, 最后进行碳包覆制备硅碳复合材料, 研究原料种类及碳包覆对硅基复合材料结构和性能的影响规律和机理。结果表明, 以埃洛石、高岭土、绿泥石和地开石等天然黏土矿物为原料, 通过低温铝热还原法成功合成了硅负极材料。硅负极材料具有较高的结晶度, 前驱体决定了硅负极材料的形貌与微观结构, 其中一维埃洛石还原制得一维硅纳米管, 二维高岭土、绿泥石和地开还原制得二维层状硅材料。电化学测试表明, 由天然埃洛石制得的一维管状硅展现出优异的电化学性能, 初始放电容量为 2726.7 mAh/g。在 0.2 A/g 的电流密度下循环 200 次后可逆容量达 1591.1 mAh/g, 容量保持率为 58.3%。

B08-26

卤化小分子添加剂对太阳能电池光伏性能的影响

宿文燕

西安科技大学

有机太阳能电池 (OSCs) 具有轻质、多彩、活性层可溶液制备和大面积高速印刷加工等独特优势, 是一种绿色可再生的实用化光电转换技术, 高度契合我国对绿色能源开发利用与碳中和重大战略的需求, 具有重大产业前景。近年 OSCs 发展迅猛, 能量转换效率 (PCEs) 超过 20%。在此过程中除了光伏材料的不断创新外, 活性层形貌的优化对于提高 OSCs 的 PCE 性能和器件稳定性也至关重要。目前, 活性层形貌的优化主要采用溶剂蒸汽退火、热退火和添加剂等方式。在上述形貌调节方法中, 添加剂被认为是最有效、最方便的策略。通过敏锐地选择类型, 精心调整液体添加剂的数量, 可以优化活性层, 创造理想的纳米级形貌, 获得高效的 OSCs。因此, 我们基于液体添加剂和固体添加剂两种主流的添加剂类型, 研究了不同卤素取代对添加剂功能的影响。首先我们采用不同的氟、氯和溴卤素取代, 合成了基于 (三甲基硅基) 噻吩的液体添加剂 Th-FSi、Th-ClSi 和 Th-BrSi。值得注意的是, 三个添加剂表现出不同的偶极矩, 并与小分子受体 L8-BO 的非共价相互作用也有一定的差异, 这表明不同卤素的取代可以改变添加剂对活性层材料的结晶性和形貌的影响。其中加入 Th-ClSi 的 OSCs 在光捕获、减少能量损失、激子解离和电荷转移性能方面优于 Th-FSi 和 Th-BrSi, 因此基于 Th-ClSi 优化的 OSCs 获得了 18.29% PCE。此外, 通过将拥有近红外吸收的受体 (BTP-eC9) 集成到 PM6: L8-BO 体系中, 制备的三元 OSCs 达到了 19.17% 的 PCE。

而后, 我们将此理念应用于固体添加剂中, 合成了基于噻吩-苯-噻吩骨架不同卤素取代的固体添加剂 (无卤 D1-H, 氟化 D1-F 和氯化 D1-Cl), 探讨了固体添加剂在 OSCs 中卤化变化的工作机理。^[2]其中 D1-H 的电荷分布是连续, 而 D1-F 和 D1-Cl 的正电荷和负电荷是孤立分布的, 因此, 卤素取代的分子与供体 (PM6) 和受体 (L8-BO) 的非共价相互作用更强, 特别是 D1-Cl 与两个组分的相互作用强度几乎相同。因此, D1-Cl 优化的 PM6: L8-BO 共混物得到了较好的相分离和分子堆积, 将 PCE 提高到 18.59%, 而且由于添加剂与给受体的同时相互作用, 很好的稳固了活性层的形貌, 提高了 OSCs 的器件稳定性。进一步将其拓宽到 D18: L8-BO 体系中, 同样获得了 PCE 的有效提高 (19.29%)。本研究表明, 不同卤素的取代可以改变添加剂分子的电荷分布, 从而调节与给受体材料的相互作用, 有效地调节活性层形貌, 提高 OSCs 的 PCE 和稳定性。

B08-27

Green flotation technology: anionic and cationic complex surfactants for enhancing microcrystalline graphite flotation with emulsified kerosene

赵雅琪

云南大学

Graphite plays an indispensable role in various industries, making its efficient separation and purification a critical research area. Flotation, being the first step in the purification process, often results in significant kerosene consumption as a flotation agent. This study employed anionic and cationic surfactants to emulsify kerosene, thereby reducing its consumption while maintaining effective flotation performance. The resulting compounded surfactant, sodium dodecyl sulfate-dodecyl trimethyl ammonium bromide (SDS-DTAB), with a molar ratio of 7:3 and a concentration of 4.5 mmol/L, was optimized through surface tension, contact angle, and particle size analysis. Microflotation experiments indicated that emulsified kerosene (VSDS-DTAB: VKerosene = 6:4) exhibited significantly enhanced recovery performance compared with conventional kerosene. The recovery rates in the roughing, primary selection, secondary selection, and tertiary selection stages increased by 4.81%, 5%, 6.3%, and 3.38%, respectively. Additionally, the fixed carbon content remained essentially unchanged, and kerosene consumption was reduced by 65.7%. Conclusively, this study proposed the use of oil-in-water (O/W) emulsified kerosene as an effective collector, offering significant reductions in kerosene usage, thereby enhancing the flotation of microcrystalline graphite. This method offered strong market competitiveness, green environmental benefits, and promising application prospects.

B08-28

微量酚醛树脂减层活化调节碳孔隙结构提升电容性能

夏英凯, 董 伟, 杨绍斌

辽宁工程技术大学

多孔碳电极主要通过离子吸附在孔表面形成双电层来储存能量, 微调多孔碳孔隙可以进一步提高超级电容器的电容性能, 做为含碳前驱体酚醛树脂既有碳沉积调孔也有活化调孔作用, 但活化调孔作用机制尚不清楚。本工作将酚醛树脂与煤基活性炭质量比为 0.2%~0.8%:1 的混合物进行热处理, 发现微量酚醛树脂具有去除中间石墨烯层的活化机制, 其中去除中间 1 层到 3 层时, 形成 0.5~0.56nm, 0.81~1.0nm, 1.14~1.19nm 的周期性孔分布, 统计分析发现与锂电容量和扩散系数强相关的优势孔径处于去除一层活化形成的孔隙范围内。与酚醛树脂一次活化相比, 少量多次活化, 使抽去一层的孔径减小速度变慢, 从而能够生成更多与容量和扩散性最强相关的 0.54nm 孔隙, 所制备的电容性能为 164F g⁻¹, 达到多孔碳水系锂电电容文献最好水平。本工作中发现的这种微量酚醛树脂对抽去一层孔隙的在 0.01nm 尺度上的精确调控, 为多孔碳材料孔隙结构调控提供了新的思路。

B08-29

高岭石的界面工程在生物医学中的应用王东岳^{1,4}, 杨华明^{1,2,3,4}

- 1 中国地质大学(武汉) 纳米矿物材料及应用教育部工程研究中心;
- 2 中南大学资源加工与生物工程学院矿物材料与应用湖南省重点实验室;
- 3 中国地质大学(武汉) 材料与化学学院;
- 4 中国地质大学(武汉) 先进矿物材料实验室;

高岭石作为一种天然的层状黏土矿物, 具有优异的理化特性和生物相容性展现出巨大的生物医药应

用潜力。本研究以高岭石界面工程为出发点，设计出可对抗耐药性细菌的感染，并加速组织再生愈合的多功能矿物基复合材料。通过高岭石煅烧改性、氧化锌的晶面调控以及氮化碳空间结构的调控，系统探究了高岭石的界面工程在促进复合材料抗菌效果和伤口促愈效果中的机制作用。研究表明，高岭石界面工程在破坏细菌膜结构、减少外泌体分泌以及抑制创面炎症的本征机制作用；同时，研究探索了高岭石的界面工程在金属离子的空间结构分布和控释、金属氧化物的晶面结构调控以及功能有机物的电子限域效应机制。这些发现证实了高岭石界面工程在开发新型矿物基抗菌促愈复合材料的巨大应用潜力，为黏土矿物高值化加工和纳米生物医用材料研发提供了理论指导，为应对抗生素耐药性和伤口感染管理提供了创新策略。

墙报

B08-P01

优异热稳定性凹凸棒石/聚酰亚胺复合隔膜的准备及电池热安全性研究

刘芳芳，张鹏飞，牛继南，冯培忠

中国矿业大学材料与物理学院

商用聚烯烃隔膜因其热稳定性与电解质浸润性差，限制了其在高性能、高安全性锂离子电池中的应用。因此，我们基于聚酰亚胺（PI）和凹凸棒石（ATP）之间的多重氢键，构建了具有优异结构稳定性的 ATP/PI 隔膜。在纯 PI 隔膜优异热稳定性的基础上，进一步引入了 ATP，提高了 ATP/PI 隔膜的热稳定性（在 400 °C 下处理 0.5 h 面积收缩率为 0%）、电解质润湿性（接触角为 8°）和液态电解质吸收率（783%）。基于 ATP/PI 隔膜的磷酸铁锂半电池的放电比容量达到 163.7 mAh g⁻¹，高于 PP 隔膜的 143.1 mAh g⁻¹ 和纯 PI 隔膜的 157.9 mAh g⁻¹。此外，这种设计可以确保锂离子电池在 150 °C 的温度下安全运行，还可以在在一定程度上抑制锂枝晶的生长。以 ATP/PI 为隔膜组装的磷酸铁锂扣式电池在经过 150 °C 处理后，0.5 C 下仍有 151.7 mAh g⁻¹ 的放电比容量。本研究提供了一种具有优异热稳定性的隔膜，可使锂离子电池在高温下安全运行，这为复杂工作环境下的安全性锂离子电池的研究奠定了一定基础。