

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

B04-资源材料与循环利用
B04-Reduce, Reuse, Recycle and
Recover of Resource Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



B04.资源材料与循环利用

分会主席：赵跃民 廖立兵 徐盛明 袁 鹏 朱润良 冯培忠

B04-01**基于泥炭-黄铁矿复合物的高性能耐盐型非均相芬顿催化剂**邓方鑫^{1,2}, 陈情泽^{1,2}, 朱润良^{1,2,*}

1. 中国科学院广州地球化学研究所先进环境装备与污染防治技术全国重点实验室, 广州, 510640
2. 广东省物理与材料研究开发重点实验室, 广州, 510640

环境适应性, 开发兼具成本效益、高效和良好耐盐性的非均相芬顿催化剂对于该技术至关重要。然而, 由于原材料成本高昂和制备方法复杂, 高效非均相芬顿催化剂的实际应用和规模化生产仍面临挑战。此外, 实际废水的复杂性也限制了这些催化剂的性能。例如, 工业废水和垃圾渗滤液通常具有高盐度 (含 Cl^-), 其会消耗 $\text{HO}^\bullet$ 形成反应活性较低的 $\text{Cl}^\bullet$ 、 $\text{ClOH}^\bullet$ 、 $\text{Cl}_2^\bullet$, 从而削弱芬顿反应活性。本研究通过水热处理球磨天然黄铁矿 (Py) 与泥炭, 合成新型 Py-HTP 芬顿催化剂, 用于废水中污染物降解。结果显示, 由于 HTP 上集成了多重 Fe-C 耦合机制 (即电子供体、电子穿梭体及改变的氧化还原电位), Py-HTP 可在 60 分钟内完全降解双酚 A (BPA), 计算得到的降解速率常数是 Py 催化剂的 5.2 倍。它在较宽的 pH 范围 (3-9) 内表现出高反应活性, 仅需低剂量 H_2O_2 (0.5 mmol/L), 并具有高反应稳定性 (7 次循环后降解率仍超过 80%)。这些特性源于 Py-HTP 的结构特征: XPS S 2p 谱与 FT-IR 分析证实 HTP 表面形成富电子的有机硫和含氧官能团, 它们与 Py 协同作为电子供体加速芬顿反应中 Fe(III) 的还原; XRD 分析与塔菲尔曲线证明 HTP 中形成的类石墨烯网络充当电子穿梭体, 促进电子从 H_2O_2 向 Fe(III) 转移。此外, Py-HTP 催化剂可耐受高盐度 (0.5 mol/L NaCl), 这归因于 SO_4^{2-} 与 Cl^- 之间的吸附竞争在界面处形成了氯离子贫化区域, 且吸附的 SO_4^{2-} 可被 $\text{HO}^\bullet$ 进一步活化形成 $\text{SO}_4^\bullet$, 二者协同作用使 Py-HTP 在芬顿反应中表现出优异的耐盐性能。不仅如此, 由于 Py-HTP 材料的制备方法简单, 以及原材料廉价易得 (即天然黄铁矿和泥炭), 易于规模化制备, 因此通过该方式合成了公斤级的 Py-HTP 样品。该样品在实际垃圾渗滤液处理中, 成功地在 18 小时内降解了垃圾渗滤液中 70.2 % 的总有机碳 (TOC)。

B04-02**面向资源循环利用的固体氧化物燃料电池多场耦合阳极梯度孔微结构设计**

徐朗*

中国矿业大学

固体氧化物燃料电池 (SOFC) 因其具有高效的能量转化和简单的发电过程, 在将燃料转化为电能的过程中表现出优异的能力。电极是 SOFC 的核心部件, 其几何结构直接影响气体在电极材料中的扩散路径和反应区域的大小。同时, SOFC 的几何结构带来的不同传热效果会影响电池的整体热分布。通过有限元数值模拟建立包含热-流-电-力等多物理过程的耦合模型, 以研究 SOFC 电极的微结构设计 with 多物理场耦合机制, 表征阳极微结构参数与 SOFC 性能的构效关系——电极结构-电池性能-热量传递。通过构建不同梯度分布的阳极微结构模型, 包括梯度孔内气体分子扩散、微孔道渗流、多孔固体材料力学本构关系、多孔介质热量传输和三相界面电化学等次模型, 分析其对燃料气体扩散路径和反应区域分布的调控作用, 以解决局部气体聚集和反应不充分等问题, 从而提升电池输出功率密度。深入考察电极微结构对电池内部传热分布的影响, 揭示结构参数与热均匀性的关联规律, 为缓解局部过热、提升热效率提供理论依据。

B04-03**黏土矿物仿生超疏液涂层研究及应用**

张俊平*

中国科学院兰州化学物理研究所

仿生超疏液表面是一个高度跨学科研究领域, 其仿生学、润湿性理论、制备方法和潜在应用等方面在

过去 20 年取得了巨大发展。然而, 由于综合稳定性差、制备方法复杂昂贵等共性技术瓶颈, 其产业化和实际应用停滞不前。

为此, 我们以聚合物/硅酸盐黏土纳米复合材料为基础, 针对超疏液表面共性技术瓶颈背后的核心科学问题开展交叉研究, 采用天然黏土矿物构建仿生微纳结构, 制备出一系列综合性能优异的超疏液涂层, 实现了其产业化和在多个领域的实际应用 (5G 天线罩/雷达罩防雨衰、新能源设施防结冰等), 探索了在锂电池隔膜/固态电解质、太阳能界面蒸发等方面的潜在应用, 研究了产业化、实际应用和潜在应用中的科学问题, 为我国丰富的黏土矿物资源的高值利用提供了新思路。

B04-04

黏土矿物基薄膜材料的结构设计及应用性能研究

吴丽梅¹、吕国诚^{*2}、廖立兵²、雷馨宇¹、唐宁¹、王晴¹

1. 沈阳建筑大学材料科学与工程学院

2. 中国地质大学(北京)材料科学与工程学院

针对我国矿产资源向高端材料转变的需求, 本研究利用液相剥离的手段将蒙脱石、水滑石等黏土矿物剥离成了二维纳米片。对剥离的矿物纳米片层重新组装制备了混凝土防护膜材料和辐射制冷涂层等。该研究拓展了黏土矿物应用的新领域, 为节能环保材料开发和黏土矿物高值化利用开辟了新途径。

海洋环境中的氯和硫酸根等侵蚀性离子, 其迁移过程的控制是提高混凝土抵抗侵蚀性离子能力的关键所在。这个过程通常取决于两个方面, 一是混凝土自身的阻碍能力; 一方面利用特定材料或水化产物对氯等离子产生化学或物理的吸附与固化。从而实现降低外部侵蚀性离子向混凝土材料内部渗入速率, 降低混凝土孔溶液中侵蚀性离子浓度的目的。本研究合成了硝酸根插层的水滑石, 将其与 Ca-Mnt 进行剥离再组装, 获得了随机自组装的 LDH/Mnt 复合材料。LDH/Mnt 复合材料针对氯和硫酸根离子的侵蚀, 表现出了较高的缓蚀效率。对氯离子的最大吸附量为 206.89 mg/L, 对硫酸根离子的最大吸附量为 79.69 mg/L。经电化学交流阻抗谱及 TG-DSC 综合分析, LDH 和 Mnt 的质量比为 1:1 时, 缓蚀效率可达 94.16 %。LDH/Mnt 复合材料在海工混凝土体系中, 不仅吸附侵蚀性阴离子, 同时释放 LDH 层间硝酸根离子, 再与 Ca-Mnt 层间释放出的钙离子结合, 可形成厚度约为 2.31 nm 的硝酸钙保护膜附在钢筋表面, 起到主动防御的作用。

另外, 利用 LDH/Mnt 组装形成的膜材料, 制备成了辐射制冷复合涂层。然而, 仅仅依靠单一无机材料的光学特性并不能最小化太阳吸收和最大限度提高中红外发射率。由此, 我们将聚乙烯醇(PVA)聚合物引入层间得到全天候冷却、高机械性能和高中红外发射率的复合涂层。利用层层自组装技术得到结构有序、分散良好的复合涂层有着高太阳反射率(65 %)和强红外发射率(98 %), 在平均太阳辐照度为 1000 W/m² 的模拟太阳光照射下表现了良好的冷却性能, 与环境温度温差达到 13.4 °C。复合涂层具有良好的耐磨和环境耐受性, 其可以承受 pH 从 3~11、不同的盐环境以及粗糙磨损后仍有着高达 99.5 % 的涂层保留率, 解决了户外应用的难题。为日后节能和环保的应用提供了一个有前景的解决方案。

B04-05

Si 合金化多孔 TiAl₃ 合金的快速制备与孔结构特征及性能优化

焦欣洋^{*1}、武庆丽²

1. 宿迁学院

2. 中国矿业大学

多孔 Ti-Al 基金属间化合物作为一种新型的多孔材料, 具有稳定的孔结构和优异的高温抗氧化、良好的机械加工性能而被广泛的应用于高温过滤等装置。同时, Si 元素的加入能够调控 Ti-Al 化合物反应过程, 促进保护性氧化物层的形成。本研究采用快速高效地自放热反应成功制备了 Si 合金化多孔 TiAl₃ 金属间化合物, 研究了烧结温度和 Si 含量对多孔 Ti-Al 体系燃烧行为、膨胀行为、相组成、孔结构和性能的影响规律, 包括力学性能和高温抗氧化性能。通过自制的“可视窗口”观察到 Ti-Al/10 at.%Si 生坯在烧结过程中表现出明显地放热行为。随着烧结温度从 600 增加至 900 °C, 体积膨胀率从 11.3 % 增加至 73.7 %, 孔隙率从

37.6 %增加至 62.9 %，最终相组成以 TiAl_3 相为主，说明 Si 成功地固溶与 TiAl_3 晶格中。以 800 °C 为最优烧结温度，随着 Si 含量的增加，放热峰的强度变缓，表明 Si 元素的添加使反应路线由固相 Ti 与液相 Al 的剧烈反应转变为先固相 Ti 和共晶液相 Al-Si 反应，再诱发固液反应。同时比较了 Si 的添加对力学性能和高温（700，800 和 900 °C）抗氧化性能的影响规律。随着 Si 含量从 0 wt.% 增加至 10 wt.%，多孔试样的抗压强度从 9.9 MPa 升高至 49.6 MPa。在 700，800 和 900 °C 下循环氧化 120 h 后的增重率分别为 2.85，8.61 和 19.7 %。Si 元素的加入促进了骨架表面形成连续且致密的 Al_2O_3 层，同时改变了氧化层的微观结构，使多孔 Ti-Al-Si 金属间化合物在高温氧化性气氛中保持稳定地孔结构。

B04-06

黏土矿物基复合隔膜的制备及电化学性能研究

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

目前，商用聚烯烃类隔膜存在电解液润湿性差、热稳定性差等问题，易引起安全事故的发生，因此，研发优异热稳定性隔膜对保障电池安全具有重要意义。针对聚烯烃隔膜存在的热稳定性差的问题，选用具有优异热稳定性、发达孔道结构、丰富储量、绿色环保的天然黏土矿物为无机填料，通过静电纺丝合成热稳定性优异、孔道发达、电解液润湿性良好的黏土矿物基隔膜。引入黏土矿物后，隔膜的热尺寸稳定性显著升高，在 180 °C 下加热处理 30 min，商用 Celgard 2500 显著收缩，而复合隔膜形状几乎未发生变化。黏土矿物的表面基团与电解液中碳酸酯基团之间具有良好的亲和力赋予了复合隔膜优异的电解液润湿性（电解液接触角接近于 0 °）；此外，黏土矿物中丰富的孔结构协同静电纺丝法制备复合隔膜中的发达孔隙，使得复合隔膜具有高吸液率和孔隙率，同时，发达的孔结构为锂离子的传输提供便利的通道。高孔隙率、吸液率和优异电解液润湿性协同作用，使得复合隔膜表现出 164.4 mAh/g 的高放电比容量。本工作为高安全性和高性能锂离子电池隔膜的可控制备及黏土矿物的高附加值应用奠定了研究基础。

B04-07

基于矿物材料的储能聚合物复合电介质

李世恒*

中国矿业大学

薄膜电容器凭借其高击穿强度与低介电损耗特性，在大功率储能领域展现出极大潜力。然而，当前商用的双轴拉伸聚丙烯（BOPP）电介质，由于介电常数较低（1000Hz 频率下约为 2.2），导致其储能密度通常被限制在 2 J/cm^3 以下。通过引入高介电常数的无机填料，能够提高聚丙烯复合材料的介电常数，但两相界面不相容问题导致介电常数提高的同时伴随着击穿场强的降低。在本研究中，我们首次将油相纳米颗粒作为填料，改善填料与聚丙烯基体的相容性，达到单颗粒分散的效果，实现介电常数和击穿场强的解耦调控；此外，通过聚合-溶解策略在蒙脱石纳米片表面包覆聚苯乙烯，提高蒙脱石与聚丙烯的相容性，实现介电常数和击穿场强的同步增强，提高聚丙烯复合电介质的储能密度。

B04-08

一种具有分子润滑、纳米润滑、自润滑三效合一润滑性能的复合材料应用于冷轧乳化油/液体系的研究

赵胜亮*、蒋红平

昭仕（厦门）新材料有限公司

本报告阐述了一种针对钢铁冷轧润滑油/液复合材料的设计研究。实验室模拟轧辊的工作模式，应用 Falex、Microtap 等方法，通过设计和调整不同分子官能团在配方中的应用，在不同温度下对系统的润滑性能进行测试，开发出了应用于不同冷轧钢板材质场景且具有分子润滑、纳米润滑、自润滑三效合一润滑功能的复合材料包。该复合材料具有协同倍增、自洽高效的润滑性能，并展示了优异的抗腐蚀、抗硬度、抗

细菌和自清洁等功能。报告也简述了通过对该材料系统的改进调整,在铜、铝等材质轧制场景的研究突破。

B04-09

战略性萤石矿产的精深加工及高值化开发利用

陈洪运

中国地质大学(武汉)

萤石作为全球公认的战略关键矿产,是氟化工产业链的起点,广泛应用于新能源电池、半导体蚀刻、国防科技等高精尖领域,被誉为“工业维生素”。然而,我国萤石资源虽储量丰富,却面临储采比失衡、综合回收率低及粗放开发导致的资源浪费与环境污染等严峻挑战。本报告聚焦萤石资源的高效利用与价值提升,系统梳理了精深加工技术进展与产业化应用前景。通过浮选工艺显著提升了萤石品位与综合利用率,进一步拓展了萤石在氟化工领域和电子信息产业的应用潜力,为国家安全与战略性新兴产业提供核心支撑。

B04-10

铜渣还原合金的纯净化与尾渣绿色建材化研究

张保敬*

中国矿业大学

随着全球精炼铜量持续增加,铜渣累积量呈现指数级增长,仅中国年排放量已突破 3000 万吨。目前对铜渣资源化利用的研究主要聚焦于制备水泥掺合料或骨料,金属回收方面则多侧重于单一金属的提取,未能充分挖掘铜渣中铜和铁共存的资源价值。本文使用焦炭作为还原剂,回收铜渣中的有价金属铜和铁制备铜铁合金,在适宜条件下对合金除杂以及尾渣制备透水砖,实现铜渣全组分的综合利用。铜渣中主要物相为 Fe_3O_4 和 Fe_2SiO_4 ,由 Cu、S、Zn、Pb、As 等元素组成的铜铈夹杂分布于磁铁矿和铁橄榄石相中。氧化钙的加入能极大促进铁橄榄石的还原,在反应温度 1500 °C,体系碱度 1.2,配碳量 1.5,反应时间 120 min 时,Fe 回收率为 99%,Cu 回收率为 87.8%,合金中 S 含量为 0.05%,As 含量为 0.029%。Fe-Cu 硫化物主要以 FeS 、 Cu_5FeS_4 及 Cu_2S 的形式存在;Fe-Cu 砷化物主要以 FeAs 及 Cu_3As 的形式存在。在 $\text{Ca/Si}=2.5$,1500 °C 下脱硫砷试验后,S 和 As 以 CaS 和 Ca_3As_2 的形式固存于渣中。使用还原后尾渣结合铜渣作为骨料,在 5% 造孔剂含量下,制备出孔隙率 35%、吸水率 19.63%、抗压强度 33.59 MPa、透水系数 $3.05 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 的透水砖。

B04-11

聚烯烃再生料化学发光识别及自由基链反应监测

黎骄、侯越、田锐*、吕超

北京化工大学

随着塑料循环经济的快速发展,在塑料制品中添加再生料已成为许多国家共识和强制要求。然而,添加再生料可能对塑料制品性能和服役寿命产生较大影响。因此,对再生料的结构认识及对塑料制品中再生料的比例及服役行为研究是实现塑料循环利用的重点和难点。目前对塑料制品中再生料的检测主要包括热分析、红外光谱及 X 射线光电子能谱等,然而这些方法无法满足对再生料微观链段结构及其自由基链反应变化研究。本工作提出化学发光法实现对再生料的微观结构及反应行为的研究。基于聚烯烃老化降解过程中生成的烷氧自由基 $\text{RO}\cdot$ 和过氧自由基 $\text{ROO}\cdot$,通过化学发光动力学及光谱对自由基化学发光进行监测,通过动力学拟合确定不同条件下聚烯烃降解路径: $\text{RO}\cdot$ 自由基终止反应生成醛酮化合物,而 $\text{ROO}\cdot$ 自由基终止生成羧基化合物。通过对化学发光动力学峰的拟合和发光物种归属,揭示了再生料与原生料的微观链段结构差别及反应路径变化规律;建立复合材料中再生料含量与化学发光信号的相关关系,实现了聚烯烃中再生料含量的快速测定,为再生聚烯烃的质量评估和含量检测提供了新的方法。

参考文献:

- [1] Yue Hou, Jing Feng, Rui Tian,* Chao Lu,* Xue Duan, Angew. Chem. Int. Ed., 2023, 62, e202307573.
[2] Rui Tian,*# Kaitao Li,# Yanjun Lin, Chao Lu,* Xue Duan, Chem. Rev., 2023, 123, 3007.
[3] Rui Tian,# Simin Xu,# Qi Xu, Chao Lu,* Sci. Adv., 2020, 6, eaaz6107.
[4] Rui Tian, Shuo Gao, Kaitao Li, Chao Lu,* Nat. Commun., 2023,14, 4720.
[5] Ying An, Pei Hu, Kaitao Li, Yu Kang, Gang Hu, Rui Tian,* Chao Lu,* Xue Duan, ACS Cent. Sci., 2025, 10.1021/acscentsci.5c00067.
[6] Zekun Zhang, Rui Tian,* Pudun Zhang, Chao Lu,* Xue Duan, ACS Cent. Sci., 2020, 6, 771.
[7] Yue Hou, Jiao Li, Guofeng Tian, Rui Tian,* Chao Lu,* Chem. Eng. J., 2025, 513, 162951.

B04-12

废塑料高值化利用制备多孔碳材料和金属-有机框架(MOF)材料

龚江*

华中科技大学

将废塑料转化为高附加值的多孔碳材料和金属-有机框架(MOF)材料,不仅有助于解决“白色污染”,还为制备低成本、多功能太阳能界面器提供新策略。在此报告中,我们将介绍课题组在废弃塑料高值化利用制备多孔碳和金属-有机框架材料的研究进展,总结塑料降解和碳化反应的影响因素和反应机理,介绍废塑料基多孔碳和金属-有机框架材料用于构筑多功能太阳能界面蒸发器实现海水淡化制备淡水,探究其与光催化降解污染物、热电、水蒸发发电等技术的集成应用,分析协同机制。

B04-13

钒渣焙烧过程中铁钒尖晶石的转化规律与定向调控

曹建其^{1,2}、王万林^{1,2}、孙永奇^{*1,2}

1. 中南大学, 冶金与环境学院, 长沙 410083
2. 中南大学, 国家清洁冶金国际联合研究中心, 长沙 410083

钒是一种极为重要的金属元素,广泛应用于钢铁工业、航空航天、催化、储能等领域。目前,钒主要来自于钒渣的焙烧-浸出,其中,焙烧过程涉及钒渣中主要含钒相-铁钒尖晶石和液相向可溶性钒酸盐的转化。铁钒尖晶石由于其超稳定性,导致从中提钒较液相更为困难。同时,少量元素的存在影响其在焙烧过程中的稳定性,进而影响了提钒效果。本研究合成了含不同少量元素的铁钒尖晶石,并利用 SEM-EPMA、XRD 和 XPS 等先进表征技术,探究了不同少量元素对铁钒尖晶石钙化焙烧过程中物相转化和组分分配的影响。结果表明:钙化焙烧后,纯铁钒尖晶石转变为富 V 相和 Fe₂O₃ 固溶体两种不同的相;Cr₂O₃、MnO 和 MgO 的存在,焙烧后没有形成新相,但影响了富 V 相和 Fe₂O₃ 固溶体的成分;然而,由于 TiO₂ 和 Al₂O₃ 的存在,焙烧后生成了新的相,即 Fe₂TiO₅ 相和富 Al 相。此外,较高的焙烧温度促进了 TiO₂、Al₂O₃ 和 Cr₂O₃ 从富 V 相向 Fe₂O₃ 固溶体的迁移,从而促进了 V₂O₅ 向富 V 相的富集;较低的焙烧温度有利于钒酸锰和钒酸镁的生成,有利于钒的进一步浸出。本研究结果对优化含不同成分体系的铁钒尖晶石的钒渣焙烧效果具有指导意义。

B04-14

高性能固废基微晶玻璃的制备与 Cr₂O₃ 介导下多元重金属协同固化机理

杜永胜*

内蒙古科技大学

共伴生多金属尾矿/矿渣的成分特点使其易于与其他固废混合制备多元固废微晶玻璃。由于固废种类的复杂性及成分的多样性,导致所制备得到的矿渣微晶玻璃通常含有多种重金属元素,多种重金属元素共存

时对微晶玻璃结构及性能的影响机理、以及重金属元素间相互作用机理、协同固化等问题尚不明确。本研究以白云鄂博多金属矿选冶后含稀土高炉渣为主要原料，外加适量 Cr、Zn、Cu、Pb、Cd、Ni 和 Co 等重金属元素模拟多元固废制备微晶玻璃。通过选取不同的热处理制度研究微晶玻璃显微结构及组织演变规律，进而揭示多种重金属离子共存时的赋存状态及迁移规律，明确其相互作用机理及协同固化机制。结果表明，

(1) 以白云鄂博含稀土高炉渣为主要原料制备的微晶玻璃中包括尖晶石、辉石、硅灰石、钙长石和玻璃相，其中尖晶石和辉石具有较强的耐腐蚀性。晶体结合能计算结果表明含 Cr 尖晶石晶体稳定性相对最高。以互锁晶体结构为主的微晶玻璃综合物化性能优异。(2) 白云鄂博含稀土高炉渣中共生 Ti 和 Nb 元素有助于微晶玻璃晶粒细化，同时抑制微晶玻璃中第二相硅灰石或钙长石相的形成。而共生稀土元素则通过置换方式进入辉石中并强化其结构，最终提高了微晶玻璃的物化性能。(3) 微晶玻璃析晶的先后顺序为尖晶石→辉石→硅灰石/钙长石。含 Cr 尖晶石一方面作为形核剂促进辉石主晶相的析出，同时还可固化 Cr、Mn、Cu、Zn、Ni 和 Co 等多种重金属元素。辉石依附于尖晶石界面生长，同时对尖晶石晶核包裹保护。重金属元素 Mn、Cu、Zn、Ni 和 Co 等可通过取代方式进入辉石中。玻璃相则更多的起到固化 Cu、Pb、Cd 的作用。(4) 重金属协同固化机制包括微晶玻璃中尖晶石/辉石/玻璃相协同保护机制以及多种重金属元素间协同共存机制，两种机制的共同作用可高效且稳定的固化多种重金属离子。相应重金属的浸出浓度远低于美国 EPA TCLP 和中国 GB 5085.3-2007 规定的浸出阈值。以上研究可为高炉渣微晶玻璃的高值、高效、绿色应用提供重要理论基础。

B04-15

BaTiO₃基超薄层 BME MLCC 的可靠性机理

朱超琼*

中国矿业大学

多层陶瓷电容器(Multilayer ceramic capacitors, MLCC)作为市场占有率最高的无源电子元器件，是基础电子元件 产业中需要突破关键技术的关键产品之一，在汽车电子、5G 通讯、电网调频、航空航天等领域有广泛的应用。在小型化、 薄层化发展趋势下，MLCC 的介质层厚度不断降低，单层介质在相同电压下的电场显著增大，尤其是中高压超薄层 MLCC。 因此，MLCC 的可靠性愈发成为一项关键的产品质量指标。本文结合加速老化测试、高温阻抗谱、漏电流测试，系统研究超薄层 MLCC 的劣化机理，揭示抑制氧空位的迁移与富集是保证超薄层 MLCC 可靠性的重中之重。为此，应减小介质 层内部的氧空位浓度，增大其迁移所需的激活能，提高界面肖特基势垒，从而提升超薄层 MLCC 的可靠性。本文的研究 成果为超薄层 MLCC 介质材料的设计提供了有力指导。

B04-16

机器学习辅助磷石膏基复合材料的开发及应用

董雄波¹ 余坤¹ 杨华明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，武汉 430074

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产品的技术瓶颈。

B04-17**煤基固废制备陶瓷材料研究**

许红亮*、郝天然、王瑞阳、曾咏霖

郑州大学

煤矸石和粉煤灰是煤炭开采、加工或利用过程中排放的主要固体废弃物，大量堆存的煤矸石、粉煤灰既会导致严重的环境污染，又会造成严重的资源浪费。基于此，本研究以煤矸石混合矸为原料制备普通烧结砖，研究了煤矸石粒度、烧结温度等对烧结砖显微结构和性能的影响规律，制备出符合国标要求的烧结砖，并评估了其重金属元素的环境影响。以优质煤矸石（煤系高岭岩）为主要原料，石英、长石、膨润土等为辅助原料制备陶瓷地板砖，获得了最佳的制备工艺制度。以高铝粉煤灰为主要原料、高岭土等为辅助原料、石墨为造孔剂，研究了莫来石多孔陶瓷的制备工艺，制备出力学性能符合国标要求、耐酸碱性能好的莫来石多孔陶瓷，获得了其渗透通量的变化规律，并探讨了莫来石陶瓷膜的制备工艺。以粉煤灰为主要原料，并协同采用锂电池处理废渣、污泥等，探索了制备陶粒的工艺制度。研究结果将有助于我国煤基固废的合理处置和资源化利用。

B04-18**利用退役动力电池和天然矿物材料构建复合催化剂及其催化氧化降解 VOCs 研究**

李霞章*

常州大学

挥发性有机化合物(VOCs)是造成雾霾和臭氧污染的主要来源，严重危害环境和人体健康；同时，新能源动力汽车快速发展带动锂离子电池(LIBs)需求激增，但也逐渐面临退役高峰，如何实现废旧电池中有价金属的高值化利用是亟待解决的问题。本研究基于“以废治废”的理念，提出一种以退役三元动力电池、废弃生物质和天然纳米凹凸棒石(ATP)为原料制备非贵金属催化剂的新方法，将其用于催化氧化降解 VOCs。利用草酸和侧柏生物质协同处理废旧锂离子电池（LIBs）正极材料，通过浸出-球磨-煅烧工艺制备了NiCoMnOx/ATP 复合催化剂，并系统评价其对甲苯的催化氧化性能。结果表明，生物质侧柏的引入显著提升了金属浸出效率，并在催化剂中诱导形成丰富的氧空位，增强了表面活性氧物种的迁移与活化能力。当LIBs与载体凹凸棒石(ATP)的质量比为0.5:1时，在质量空速为20000 ml g⁻¹ h⁻¹条件下，催化剂在285 °C下即可实现99%的甲苯降解率，且连续运行20小时后仍保持稳定性能。XRD、EPR和XPS等表征证实，氧空位的增加促使Ni、Co、Mn等金属呈现更多低价态，优化了电子结构，从而降低反应活化能。In situ DRIFTS分析揭示了甲苯的降解路径为甲苯→苯甲醇→苯甲酸→CO₂/H₂O，遵循Mars-van Krevelen (MvK)机制。此外，将粉末催化剂涂敷于堇青石蜂窝制备为整体式催化剂后，在315 °C下仍可实现大风量低浓度甲苯的高效降解，展现出工业化应用潜力。本工作不仅为VOCs治理提供了低成本、高性能的催化剂设计思路，同时实现了废旧电池资源化利用，为低碳经济及循环发展提供了新的策略。

B04-19**Cf/SiC 表面 SiC/ZrB₂-SiC-Si 涂层的料浆-气液硅低温共渗制备及其超高温抗烧蚀机制研究**

唐鹏举*

中国矿业大学

料浆-渗硅工艺在制备ZrB₂-SiC涂层上具有良好的应用前景，但渗硅时ZrB₂会异常聚集和长大分布不均，同时Si也会向基材过渡渗入造成增强相的损伤。因此我们开发了一种料浆-气液硅低温共渗复合工艺并于Cf/SiC表面制备了一种SiC/ZrB₂-SiC-Si双层涂层。致密SiC内层的引入既促进了涂层与基材间的界面结合，又抑制了渗Si过程中Si向基材的过渡渗入。同时气液硅低温共渗也极大缓解了ZrB₂颗粒的异常聚集和长大。所制备涂层与基材的界面结合强度高达15.6 MPa，可在1900 °C的高温下经受5次总时长达600 s的氧乙炔烧蚀考核，展现出良好的超高温长时抗烧蚀性能。特别之处的是，该工艺制备的带有涂层的

Cf/SiC 基材强度保持率高达 97.3 %。

B04-20

钛酸铋钠基介质陶瓷储能性能研究

蔡子明*

中国矿业大学

钛酸铋钠 (BNT) 是一种 A 位离子复合取代的钙钛矿型铁电体, 由于具有高饱和极化强度、高居里温度和宽温度范围内相变弛豫等特征, 因此被视为潜在的陶瓷电容器介质材料之一。然而, BNT 材料同时存在高剩余极化强度、低击穿场强和介电常数温度稳定性差等缺点, 这些特性限制了其进一步应用的范围。本工作通过芯壳结构、异质结构构建, 以及固废基材料掺杂改性等手段, 协同调控极化强度与击穿场强, 从而提高 BNT 基介质陶瓷的储能性能。

B04-21

Halloysite-based Nanocomposite Hydrogels for Local Antimicrobial Drug Delivery

Li Wen Wong^{*1,2}, Joash Ban Lee Tan¹, Pooria Pasbakhsh^{3,4}, Peng Yuan²

1. Monash University Malaysia

2. School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, Guangdong, China

3. School of Engineering, Monash University Malaysia, 47500 Subang Jaya, Selangor, Malaysia

4. Department of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne, Parkville, Victoria 3010, Australia

Nanocomposite hydrogels leverage crosslinked polymer networks enhanced by clay minerals for biomedical applications such as targeted drug delivery. This study utilizes halloysite nanotube (Hal), a naturally occurring aluminosilicate clay mineral, into a hydrogel matrix composed of oxidized cellulose and gelatin to fabricate an injectable nanocomposite hydrogel. The use of Hal exemplifies efficient mineral resource utilization, transforming an abundant, low-cost mineral into a high-value multifunctional agent that supports sol-gel transition for injectability, acts as an antimicrobial drug carrier, and leverages inherent hemostatic properties to accelerate clot formation. The Hal-reinforced nanocomposite hydrogel enables sustained antibiotic release at infection sites while promoting wound recovery through enhanced hemostasis. Its injectability facilitates minimally invasive delivery, simultaneously providing structural support, combating bacterial infection, and controlling bleeding. This approach highlights the comprehensive utilization of clay mineral resources for biomedical applications, offering a triple-function solution for infection management, hemostasis, and wound recovery.

B04-22

Halloysite Clay Nanotubes as Versatile Carriers for Biologically Self-Healing Construction Materials

Mohammad Fahimizadeh^{*1,2}, Pooria Pasbakhsh^{1,3}, Joash B.L. Tan⁴, Raman K.R. Singh⁵, Peng Yuan²

1. School of Engineering, Monash University Malaysia, Jalan Lagoon Selatan, Bandar Sunway, 47500 Subang Jaya, Malaysia

2. School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, 510006, China

3. Department of Infrastructure Engineering, University of Melbourne, Parkville, Victoria 3010, Australia

4. School of Science, Monash University Malaysia, Jalan Lagoon Selatan, Bandar Sunway, 47500 Subang Jaya, Malaysia

5. Department of Chemical Engineering, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash University, Clayton 3168, Australia

Biological self-healing of concrete is a sustainable approach to remedy small cracks and structural faults in cement-based materials, extend their service life, and reduce the environmental footprint of the construction industry. Such systems rely on CaCO_3 biomineralization by alkaliphilic bacteria, nutrients, and a protective carrier. This approach faces multiple challenges, such as a lack of material durability and short-lived self-healing action. Multifaceted materials such as halloysite clay nanotubes (HNTs) can enhance different aspects of biologically self-healing concrete systems. Our research group demonstrated that HNTs can effectively carry bacterial nutrients and support bacterial growth and biomineralization. The nutrient-loaded HNTs were added to crosslinked hydrogel microcapsules alongside the biomineralizing bacteria and incorporated into concrete samples, which were then artificially cracked and subjected to self-healing analysis. HNTs improved the resistance of the calcium-crosslinked hydrogel to the cement environment, likely by supplementing detached Ca^{2+} ions to the hydrogel polymer chains, and considerably improved the hydrogel-cement interface by C-(A)-S-H gel formation. Furthermore, encapsulated nutrient-loaded HNTs directly exposed to the cement pore solution successfully retained the nutrients and supported intracapsular biomineralization. Encapsulated HNTs mitigated the loss of early flexural strength observed in concrete samples with basic hydrogel microcapsules. The self-healing system successfully healed 300 μm concrete cracks, restoring the crack water tightness by approximately 95 % and improving the flexural strength regain by approximately 75 % compared to control samples. While the self-healing system can have various alternative applications, we demonstrated that the self-healing system is suitable for artificial coral reef restoration, replacing cement by 25 wt% when applied alongside metakaolin without impacting coral health while possibly encouraging coral attachment.

B04-23

铋系半导体的电子结构调控及其光催化表界面反应机理

耿芹*

电子科技大学长三角研究院(湖州)

半导体光催化技术能够有效利用太阳能,具有可持续发展特性,在储能和环境净化方面应用前景广阔。铋系半导体不仅电子结构独特,禁带宽度合适,还能在可见光范围内实现光响应,在近年来受到广泛关注。铋是自然界中唯一具有低毒、低放射性的重金属元素,结合我国铋矿资源丰富,铋储量居世界首位,且铋系半导体中 Bi 6s 和 O 2p 轨道的杂化作用会导致其价带变宽,禁带宽度变窄,因此研究和开发铋系光催化剂具有潜在的应用前景。其优势还在于良好的化学稳定性,合适的带宽,以及能够对可见光实现光响应。不过尽管如此,他们在实际光催化过程中也存在可见光吸收效率较低,光生载流子复合较快等缺点,因此如何有效提高其光催化效率,加快实际应用进程是目前亟待解决的关键问题。

由于光催化效率与电子结构密切相关,所以对半导体电子结构进行调控,是实现高效光催化的有效策略。常用的电子结构调控手段通常是元素掺杂、缺陷工程和构建异质结。此外,除了对常规的铋系光催化剂进行改性外,开发新型的可见光响应的铋系光催化剂也是加快光催化实际应用进程的重要手段之一。 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{SO}_4$ 是由 $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ 层和 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 层所构成的半导体材料,这赋予了其在作为光催化剂方面巨大的开发潜力。但相对较宽的带隙限制了 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{SO}_4$ 对可见光的响应及载流子的分离,导致其在可见光下几乎没有光催化活性,对实际应用不利。本报告先选取常规 BiOX 中具有可见光吸收能力的 BiOBr 和 BiOI 作为研究对象,采用元素掺杂、缺陷工程和构建异质结策略对其电子结构进行调控,提高其可见光吸收效率并抑制载流子复合,随后再将这些策略拓展至新型 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{SO}_4$ 光催化剂的电子结构调控上,提高其光吸收范围并促进载流子分离,从而使其具有可见光光催化活性。

B04-24

废旧磷酸铁锂电池的升级回收技术开发和趋势前瞻

罗浩*

厦门理工学院

废旧锂离子电池(Spent lithium ion batteries, SLIBs)的资源化回收对于提高资源循环利用效率、响应“双碳”政策具有重要意义。然而,传统冶金法无法满足经济、环境需求。因此,我们系统深入的探索了低能耗、低物耗的 SLIBs 新型升级回收方法和多元化应用前景。首先,针对降解 LiFePO_4 性能再生和废旧负极中死锂、层间锂等非活性锂的回收困难问题,通过热解协同深度放电的策略激活负极非活性锂,并用于成功再生降解的 LiFePO_4 。研究发现该方法能够从负极中回收超过 16 % 的锂,并不产生材料破坏和明显污染。其次,面对负极材料在二次利用过程中无法媲美新材料的降级利用窘境,开发了水浸制备 LiF 层的回收石墨升级利用技术。基于 LiF 的良好离子电导性和稳定性,回收石墨在石墨基锂金属电池和低 N/P 比全电池体系中显著提升能量密度和循环稳定性,性能超越新商业石墨。此外,将回收石墨通过氟化技术成功制备了氟化碳并用于 Li/CFx 一次电池,该电池表现出优异的比容量(846 mAh g^{-1} at 0.1 C)和可逆容量(793 mAh g^{-1} at 5 C)。在开发了正、负极的新型回收方法后,基于元素在物质组成和化学反应的不唯一性,我们还深入总结、分析了回收材料在高附加值领域(催化剂、吸附剂、生物医药等)的多元化应用前景。这些工作,对废旧电池先进回收技术及高价值再利用的未来研究方向提出了新的见解,旨在保障动力电池资源可控、减少全生命周期碳排放和环境污染等做出贡献。

B04-25

基于分子动力学模拟的埃洛石纳米管卷曲机制

刘鑫、吕国诚*、余跃宇、侯佳馨、廖立兵

中国地质大学(北京)

埃洛石纳米管(Halloysite nanotubes, HNTs)因其独特的一维中空管状结构而在多个领域展现出重要的应用价值。有观点认为天然 HNTs 来源于高岭石片层的卷曲,并且通过高岭石的插层-剥片处理成功制备出类 HNTs 结构。虽然基于四面体-八面体尺寸不匹配和四面体旋转弯曲的理论模型在一定程度上解释了 HNTs 的卷曲机制,但是其难以解释卷曲轴取向等关键问题,而目前常规实验方法也在该方面存在明显局限。本研究通过构建接近真实尺度的高岭石片层模型($100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$),采用大规模分子动力学模拟研究了高岭石片层的动态卷曲行为,并基于键长、键角及多面体体积、形变等结构参数的定量分析深入探究了 HNTs 的卷曲机制。研究表明:(1)硅氧四面体平均体积变大,硅氧四面体层呈现膨胀特征,其中 Si-顶氧键长增加而 Si-底氧键长缩短,顶氧相关键角减小而其他键角增大,同时 Si 原子间距增大且 Si-O-Si 键角增大;(2)铝氧八面体平均体积减小,铝氧八面体层表现出收缩趋势,其中平行于卷曲轴方向的铝原子间距增大而其他方向减小。这一结果直接支持了经典的四面体-八面体尺寸不匹配理论,且表明铝氧八面体层的各向异性收缩可能是驱动高岭石片层卷曲的重要因素。本研究从原子尺度揭示了高岭石片层卷曲成管的结构演化机制,不仅深化了对 HNTs 形成机理的理论认识,而且为其功能化应用和性能优化提供了参考。

B04-26

锂渣基地聚物型建筑功能材料制备及其性能研究

高欢*¹、刘昊²、廖立兵²

1. 成都理工大学

2. 中国地质大学(北京)

目前由于新能源电池行业的快速发展,碳酸锂的生产和消耗量也在迅速增长。目前,我国矿石锂资源开发主要为锂辉石,该提锂过程中产生了大量锂辉石提锂尾渣(“锂渣”),是我国的典型大宗固废之一。锂渣的堆放与填埋不仅会占用大量的土地资源,还会对土壤及水源造成严重污染。因此,提高锂渣的利用率,探索更环保的处理方法,是当前需要面对和解决的重要问题之一。地质聚合物(地聚物)是由 $[\text{SiO}_4]$ 与 $[\text{AlO}_4]$ 四面体单体通过共用顶点氧原子构建而成,形成了一种无定形的三维空间网状结构。这种独特的结构赋予了地聚物高强度、耐高温、耐腐蚀等一系列优良特性,使其在建材行业中展现出巨大的应用前景。此外,与传统硅酸盐水泥相比,地聚物的生产过程能够减少 CO_2 排放,对于缓解全球气候变暖、促进环境

可持续发展具有重要意义。锂渣主要成分为 SiO_2 和 Al_2O_3 组成,可作为地聚物得潜在原料。本文以脱硫锂尾渣为原料,开发三种地聚物型建筑功能材料,并探究了工艺过程及其反应机理。所得主要结论如下:

(1) 锂渣基地聚物胶凝材料:采用微波养护工艺,在碱活化剂浓度为 12 mol/L、液固比为 0.5、微波固化功率为 180 W、固化时间为 3 分钟的条件下,制备的 LSG 强度达到 45.2 MPa。

(2) 锂渣基地聚物复合相变储能材料:用脱硫锂渣成功制备了地聚物微球和石墨强化传热地聚物微球,并用其制备了 CPCMs;利用石墨改性使地聚物微球导热系数提高了 46.15 %,石墨改性地聚物微球制备的 CPCMs 的熔化潜热为 79.28 J/g,凝固潜热为 71.84 J/g。

(3) 锂渣基多孔地聚物保温材料:采用锂渣为原料,水玻璃和 NaOH 为碱激发剂,双氧水为发泡剂,通过常温发泡成功制备孔隙率约为 75 %的多孔地聚物材料;发泡剂含量 5 %时样品孔隙率最高为 75.99 %,密度最低为 0.393 g/cm³,导热系数最小为 0.106 W/(m·K),保温性能仍有待进一步改善。

本研究可以为锂渣及类似固体废弃物制备高附加值建筑功能材料的资源化利用提供参考。

B04-27

硅酸盐连续纤维原料调控与性能提升

刘昶江*、杨春成、李红超

河北地质大学

摘要:玄武岩纤维作为一类特殊的玻璃纤维,因其优异的力学性能与化学稳定性而备受关注。本研究基于玄武岩复杂的化学成分体系,突破传统岩石原料局限,将连续纤维原料拓展至粉煤灰、尾矿、冶金渣等工业固废资源,通过多组分协同调配实现资源高效利用。研究发现,可用于制备连续纤维的火成岩种类更为广泛,结合高纯石英纤维、不同类型玻璃纤维的优势特性,构建了多元化的纤维原料体系。这一拓展不仅显著提升了工业废弃物的综合利用率,也为高性能纤维的规模化生产提供了新路径,助力绿色材料产业的可持续发展。

基于上述原料体系的创新,本研究团队深入探究熔体结构与性能间的内在关联,提出以熔体粘度与结构参数为核心的连续纤维原料筛选及评价模型。该模型通过量化分析原料特性,为纤维原料的科学选择提供理论依据。在此基础上,针对高强度、高模量、耐高温、耐酸碱等不同功能需求,系统开发专用原料配方与工艺,并对玄武岩纤维进行结构与性能改性,成功制备出高强度、高模量、耐高温、耐腐蚀等多系列高性能玄武岩纤维产品,对推动复合材料、航空航天、建筑工程等行业的技术升级具有重要意义。

B04-28

多源固废协同制备微晶玻璃的组分调控与性能优化

陶隆凤*

河北地质大学宝石与材料学院

在“双碳”战略背景下,工业固体废弃物的高值化利用已成为清洁制造技术发展的重要方向。本研究创新性地采用软玉弃料(TR)作为基础原料,结合粉煤灰(FA)和铁铬渣(FCS)构建多源固废协同体系,系统研究了组分调控对微晶玻璃结构和性能的影响规律。研究首先优化了 TR-FA 体系的配比(质量比 9:1~5:5),发现 FA 的引入可显著调节玻璃网络结构。当 Al_2O_3 含量在 5.00~15.48 wt.% 范围内变化时, $[\text{AlO}_4]$ 四面体的形成有效调控了硅氧网络聚合度。特别地, TR/FA=7:3 时玻璃网络解聚程度最大,这为辉石相的异质成核创造了有利条件。进一步引入 10~40 wt.% 的 FCS 后, $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{3+}$ 不仅作为网络修饰体降低了成核势垒,还诱导尖晶石相析出,并通过高熵效应抑制元素偏析,实现辉石晶粒的显著细化。然而,过量的 FCS (>30 wt.%) 会导致硅氧网络过度解聚,反而引起晶粒粗化。性能测试结果表明,当 TR/FA=5:5 时,微晶玻璃表现出最优异的耐腐蚀性能,其耐酸性和耐碱性分别提升 80 %和 40 %。此外, TR/FA=6:4~5:5 配比制备的玻璃纤维展现出良好的综合性能,拉伸强度达 950~1100 MPa,断裂伸长率提升至 1.68 %,同时拉丝工艺窗口扩展至 200 °C,显著改善了加工性能。本研究通过多源固废的协同利用,不仅实现了废弃资源的高效转化,还为高性能微晶玻璃和玻璃纤维的制备提供了新的技术路线。

B04-29**膨胀珍珠岩功能设计及其应用研究进展**左小超¹ 赵晓光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，武汉 430074

2.江西铜业技术研究院有限公司，南昌 330096

膨胀珍珠岩是一种多孔非金属矿物，具有吸附能力强、稳定性好、储量丰富等优点。通过物理共混、表面负载、表面改性及结构改型等手段制备膨胀珍珠岩基功能材料已在轻质保温隔热建筑，吸声建筑，防火安全，热管理，环境治理，液体过滤，农业添加剂，园艺等领域有了广泛的应用。本文系统总结了膨胀珍珠岩功能设计方法、应用现状以及在太阳能存储与应用领域的最新研究进展。

B04-30**纤维用磁性浸润剂的制备及性能研究**

杨春成*、李腾

河北地质大学

玄武岩纤维因优异力学与耐腐蚀性备受关注，但其非磁性限制了在磁性材料领域的应用。现有磁改性方法易损伤纤维，导致力学性能下降。为此，本研究采用共沉淀法和化学还原法，以不同表面改性的 Fe_3O_4 晶体或 FeZrB 非晶纳米磁性颗粒为核心，结合聚乙烯醇（PVA）和硅烷偶联剂 KH-550，开发了纤维用磁性浸润剂。通过简便的浸润剂涂覆法对玄武岩纤维进行赋磁。利用 XRD、FT-IR、SEM、TEM、VSM 等多种表征技术分析了浸润剂的物相、官能团、形貌、粒径及磁性能；通过 SEM、EDS、VSM 和力学测试研究了改性纤维的表面形貌、元素分布、磁学及力学性能。结果表明，表面改性（特别是柠檬酸 CA 改性）能有效调控磁性颗粒分散性及浸润剂性能。CA 改性浸润剂在纤维表面形成均匀致密的磁性颗粒层，并构建有机-无机复合交联网络结构，显著提升了纤维的综合性能。具体而言： $\text{Fe}_3\text{O}_4@CA$ 浸润剂饱和磁化强度（ M_s ）达 78.4 emu/g，涂覆纤维上浆率 15.63%，抗拉强度 2187 MPa（比原始纤维提升 138.87 %），纤维 M_s 为 41.3 emu/g； $\text{FeZrB}@CA$ 浸润剂 M_s 高达 98.9 emu/g，涂覆纤维上浆率 25.18 %，抗拉强度 1868 MPa（提升 104.01 %），纤维 M_s 达 63.5 emu/g。两种 CA 改性纤维均展现优异磁响应性。柠檬酸根的分散作用是性能提升的关键。本研究为高性能磁性玄武岩纤维的制备及磁性浸润剂设计提供了理论基础。

B04-31**碱溶-地聚反应法处理工程渣土的力学性能影响与机理**

张佰发*、袁鹏

广东工业大学环境科学与工程学院

花岗岩风化土广泛分布在我国华南地区，由花岗岩经强烈风化而形成，富含大量的粘（黏）土矿物（如高岭石、伊利石等）、长石和石英等矿物。随着该地区的建设发展，基坑的开挖形成了大量工程渣土，将其直接堆填会侵占大量土地资源并造成环境危害。考虑到在碱作用下，粘土矿物能够发生解聚-缩聚的地聚反应，形成绿色低碳胶凝材料的特点，通过碱溶液处理废弃花岗岩风化土型渣土具有十分可观的环境效益。而其中大量涉及高岭石等粘土矿物的物相转变和固液相界面反应问题，值得从矿物界面反应的角度进行深入研究。

利用碱溶液作为固化剂，协同纤维对工程渣土进行改良。研究表明，在少量碱的作用下，花岗岩风化土中的矿物，尤其是部分高岭石等粘土矿物能够发生地聚反应，矿物经历溶解-重排-缩聚，最终形成了少量地聚物（水合硅铝酸钠）凝胶，粘结矿物颗粒，并填充矿物颗粒孔隙之间，降低土体的孔隙率，从而提高静态力学性能。而纤维的添加能够加强土体中矿物颗粒的连接，高岭石等矿物与玻璃纤维协同作用，显著提高了改良土的动力学性能。在该体系中加入少量（2 %）的水泥后，改良土的力学性能得到进一步提升；这是由于高岭石等高活性矿物为水泥提供了重要的铝源，水泥水化后形成强度更高的水合硅铝酸钙凝

胶，并与地聚物发生耦合作用，形成更致密的结构。

利用碱溶液作为激发剂，通过地聚反应可以将工程渣土转变为性能优异的地聚物。在合适热处理（850 °C）下，高岭石转化为偏高岭石，具有很高反应性。在碱溶液的作用下，偏高岭石能够充分的溶解，部分伊利石也参与反应，形成大量的铝硅单体，进而聚合成凝胶，石英和长石作为填充颗粒，所制备地聚物抗压强度能达到 58 MPa；可溶性硅的含量和碱浓度影响着矿物的溶解速率与溶解量，进而制约地聚物的微结构和性能发展。值得注意的是，在相似性能条件下，渣土地聚物碳排放和酸排放量分别低于水泥的 22 %和 15 %；其使用不但可以消纳大宗的渣土，还能获得低碳材料。

上述研究结果表明，碱溶-地聚反应处置花岗岩风化土类渣土涉及复杂的矿物界面反应和相变过程，尤其是其中富含铝硅成分、反应性较高的高岭石，是制约此类渣土反应性的关键。此外，无论是改良土壤，还是制备胶凝材料，通过碱溶-地聚反应法处理渣土的环境足迹低，可望成为废弃花岗岩风化土的资源化利用的绿色途径。

B04-32

化学增值/闭环回收商用聚氨酯废料

刘增贺

杭州师范大学

聚氨酯因其原料种类多样、分子结构设计自由度大、性能可调节范围非常宽的特性，被广泛应用于建筑、交通、家居、医疗等各个领域。然而，在到达其使用寿命后，伴随而来的是大量聚氨酯废弃物的处理问题。物理回收法所得再生产品性能通常下降、经济价值低。化学回收法可将其解聚为原料，用于新材料的合成，其再生产品可媲美初始产品。但当前化学回收法存在以下系列难题：效率低、能耗高；通常仅能回收利用聚醇链段，难以利用异氰酸酯副产物；额外试剂消耗量大；再生产品附加值不高。基于以上问题，我们提出了系列解决方案^[1-3]，主要包括：采用新型的 DMF-TBD 降解法、分子网络碎片化策略和微粒化方案实现聚氨酯废料的高效、可控解聚以及废料完全资源化；基于断键-逆向成键机理，实现零试剂消耗、完全原子经济化；通过引入活性开关，按需实现解聚产物的闭环回收或增值再造。

参考文献：

[1] Liu ZH[#], Fang ZZ[#], Zheng N[#], Yang KX, Sun Z, Li SJ, Li W, Wu JJ, Xie T*. Chemical upcycling of commodity thermoset polyurethane foams towards high performance 3D photo-printing resins. *Nature Chemistry*, 2023, 15: 1773–1779.

[2] Sun Q, Liu L, Zhang JY, Chang XH, Chen JW, Liu ZH^{*}, Zhu YT*. Chemical upcycling of thermoplastics towards thermosets based on dynamic dimethylglyoxime-urethane moiety. *Angewandte Chemie International Edition*, 2024, 64: e202416437.

[3] Liu ZH[#], Liu L[#], Yang KX, Li SJ, Li W, Zhu YT*, Xie T*. Atom economic closed-loop recycling of thermoset polyurethane foams. *Nature Communication*, 2025, 16: 5117.

B04-33

生物基聚芳醚酮的可控降解与碳纤维回收

谢雨佳^{2,a}, 潘峰^{1,b*}, 刘宇^{2,c*}, 赵联双^{2,d}, 温书宝^{2,e}, 李博威^{2,f}, 宋富媛^{2,g}

1. 解放军某部队

2. 长春工业大学化学与生命科学学院，长春 130012

碳纤维增强聚芳醚酮复合材料（CF/PAEK）引发的环境问题日益凸显，其中从复合材料中回收高价值的碳纤维（CFs）的仍是行业难题，目前在 CF/PAEK 复合材料中有效回收碳纤维的研究报道较少。本研究以生物质来源的香草醛与赤藓糖醇为原料合成香草醛衍生双酚单体（VD），随后与 4,4'-二氟二苯酮（DFB）进行共聚反应，成功制备新型生物基聚芳醚酮（PVEK）。该 PVEK 表现出优异的热稳定性，其 5 %热失

重温度 ($T_{5\%}$) 达 360 °C, 玻璃化转变温度 (T_g) 为 137 °C。尤为重要的是, 碳纤维增强 PVEK 复合材料 (CF/PVEK) 在 THF/H₂O 混合溶液 (体积比 9:1) 中 0.5 M 硫酸条件下表现出完全降解特性, 实现了碳纤维的非破坏性回收, 所获再生碳纤维的形貌结构与力学性能均保持良好。该 PVEK 材料兼具合成路线简洁、热机械性能优异及可控降解等特性, 为发展环境友好型高性能复合材料提供了新思路。

B04-34**Oxygen-Vacancy-Triggered Bismuth Oxide/Manganese Oxide/Manganese Aluminum Oxide on Reduced Graphene Oxide Heterojunction for High-Performance Supercapacitors**

张嫚

台州学院

铋基晶体微结构材料介于易于电子能带杂化和原子配位调谐, 可实现形态控制、晶体结构设计、能带调节、缺陷引入等获得优异的能量存储效率。然而铋锰基氧化物微纳结构材料的循环稳定性较差, 在放电/充电过程中, 巨大的体积变化将导致严重的颗粒团聚和结构坍塌。石墨烯作为一种单层碳原子结构, 碳原子紧密排列在二维蜂窝状晶格中, 具有较大的比表面积和高导电性。鉴于其独特的结构稳定性, 本研究提出了一种通过合金化和水热自生长策略制备 Bi₂O₃/Mn₃O₄/Mn₂AlO₄(O_V)/rGO 多相氧空位异质结构来提高超级电容器比能量的。rGO 异质结构与氧空位缺陷的协同作用产生内部极化电场, 通过相互连接的导电网络加速离子传输, 并增强电化学响应。工作电压从 0.6 V 扩展到 0.8 V, 显著提高了材料的储能能力。由 Bi₂O₃/Mn₃O₄/Mn₂AlO₄(O_V)/rGO/rGO 组成的非对称超级电容器在 4.9 V 电池电压下的比能量为 333 Wh kg⁻¹, 比功率为 6.3 kW kg⁻¹。DFT 模拟进一步验证了氧空位和异质结构的协同作用增强了电导率, 缩小了带隙, 改善了表面性能。

B04-35**新型 EDTA 改性钢渣基催化剂非均相 Fenton 法脱除 NO**

刘凌涛*

东华理工大学

单功能活性中心的限制已成为非均相 Fenton 反硝化系统的关键瓶颈。为此, 针对钢渣的结构特点和 EDTA 的化学性质, 利用 EDTA 对钢渣进行改性, 制备具有多功能活性中心的催化剂 EDTA-SA-SS, 催化 H₂O₂ 氧化脱除 NO, 结果表明, 该催化剂对 NO 的催化效率高达 91.6 %, 且稳定性良好。EDTA-SA-SS 体系的上级芬顿催化活性源于其综合反应机理: (1) EDTA 在芬顿反应中同时扮演供电子和电子穿梭的角色, 利用其酚羟基和羧基促进 Fe(III) 还原。EDTA 可降低 Fe(II)/Fe(III) 的氧化还原电位, 这是由于构建的 C-O-Fe 键合。因此, 通过 EDTA 调节 Fe 的电子结构, 可以增强 Fe(II)/Fe(III) 的循环, 不断产生 OH, 促进 NO 的氧化反应。(2) 同时, 不断再生的 Fe(II)EDTA 络合物螯合 NO, 形成协同氧化-络合去除途径。考察了 EDTA-SA-SS/H₂O₂ 体系在不同操作条件下对 NO 的去除性能和动力学数据。介绍了一种环境友好、资源高效的芬顿脱氮烟气处理方法。

B04-36**铜渣与废三元锂电池正极材料碳热还原协同回收贵金属**

程俊生、张保敬*

中国矿业大学

铜渣作为一种大宗固废, 其中铁含量远超国内铁矿石品位, 具有相当大的经济价值, 中国每年产生大量废锂离子电池(LIBS), 其中贵金属 Li、Ni、Co 具有相当大的回收价值。本文提出一种铜渣中铁作为捕集剂, 氧化钙氟化钙作为熔剂, 焦炭为还原剂的情况下, 碳热协同还原回收 LIBS 中的贵金属镍、钴, 锂在烟气中以碳酸锂的形式富集。对 LIBS 正极材料在焦炭作用下的热解行为进行研究, 揭示协同熔炼过程中

反应机制，通过单因素实验法，确定了协同熔炼的最佳实验条件，在熔炼温度 1500 °C 下保温 120 分钟添加 CaO 调整碱度为 1 的情况下，实现 Fe、Ni、Co 的高效回收，实现两种固废的高效利用。

B04-37**自放热反应制备 Ni-Mg 材料的析氢反应催化剂特性**

谢超群、冯培忠*

中国矿业大学

通过自放热反应成功制备了多孔 Ni-Mg 金属间化合物作为自支撑性电催化剂，研究了烧结温度对自支撑电催化剂在 1 M KOH 溶液中析氢（HER）性能的影响。结果表明，700 °C/0.5 h 样品主要物相为 MgNi₂ 和 Ni，且样品表现出相互连通且分布均匀的孔隙结构以及表面改性电子结构，这些特征使得该样品在 10 mA cm⁻² 电流密度下的过电位为 70 mV，显示出优异的催化活性。此外，在对样品的耐碱蚀性测试中，易产生的稳定的钝化膜使其具有良好的耐腐蚀性。本研究建立了制备参数与电催化性能之间的联系，为设计成本效益高的析氢催化剂提供了一种新思路。

B04-38**氢气协同废硅钼棒还原铜渣制备钼铁合金**

于乐*

中国矿业大学

铜渣是铜冶炼过程中产生的重要固体废弃物，富含铁、铜等有价值金属元素，但传统处理方法存在能耗高、金属回收率低及环境污染等问题。随着工业生产中硅钼棒的应用，大量废硅钼棒会造成钼资源的大量浪费，因此二硅化钼具有非常大的回收应用潜力。本课题提出一种绿色高效的资源化利用新工艺，以铜渣为原料，采用氢气协同二硅化钼作为还原体系，通过高温还原反应制备高附加值的钼铁合金。该工艺的创新性在于通过 H₂与 MoSi₂的协同效应，实现高效还原以及降低能耗，研究成果可为铜渣高值化利用提供新思路，提供了一条高效、可持续的固废增值利用路径，兼具显著的经济效益与环境意义。

B04-39**固体废弃物封存二氧化碳技术研究**

张子鑫*

中国矿业大学

二氧化碳捕集、利用和封存 (Carbon Capture Utilization and Storage, CCUS) 技术是现阶段能够实现高效 CO₂ 减排的关键技术。IEA 预估利用 CCUS 技术，从 2017 年到 2060 年全球可以减少 280 亿吨的 CO₂ 排放。CO₂ 矿化是 CCUS 技术体系中缓解 CO₂ 气体危害的有效途径之一，其主要是利用矿化原料与 CO₂ 气体进行碳酸化反应，得到稳定的固态碳酸盐，从而实现 CO₂ 的长久封存。

B04-40**制备超细和高显色 V-ZrSiO₄ 蓝色颜料的理想前驱体——蒙脱石衍生纳米 SiO₂**

张筱君*

中国科学院广州地球化学研究所

随着陶瓷喷墨打印技术的快速发展，用于制备陶瓷墨水的超细粒径、高呈色性颜料的合成仍具挑战性。本研究开发了一种新型固相反应策略，以纳米多孔 SiO₂、ZrOCl₂·8H₂O 和 V₂O₅ 为前驱体合成超细钒钼蓝 (V-ZrSiO₄) 颜料。蒙脱石衍生的纳米多孔 SiO₂ (SiO₂(Mnt)) 具有大比表面积 (664 m²/g)、小粒径 (5-10 nm) 及丰富的表面硅羟基 Si-OH (约为气相法 SiO₂ 的 4 倍)，是合成超细 V-ZrSiO₄ 颜料的理想前驱体。

机理研究表明： $\text{SiO}_2(\text{Mnt})$ 表面 Si-OH 基团在机械混合过程中可与 $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 形成 Si-O-Zr 键，结合其多孔结构和纳米特性，有效促进了前驱体间的界面相互作用及离子扩散反应。最终获得的 V-ZrSiO_4 颜料具有较小的粒径 ($D_{50}=0.698 \mu\text{m}$) 和鲜艳地蓝色调 ($L^*=62.14$, $a^*=-11.7$, $b^*=-25.82$)。XRD 分析表明 $\text{SiO}_2(\text{Mnt})$ 将 ZrSiO_4 合成温度从 700°C 降至 600°C ，准原位 TEM 揭示了高活性纳米 $\text{SiO}_2(\text{Mnt})$ 通过 Si-O-Zr 键优先吸附于锆源表面，加热时促进 Si 向 Zr 的扩散，从而形成超细 V-ZrSiO_4 。该颜料在陶瓷、玻璃及 PMMA 等基材上均表现出优异的显色性、分散性及热/化学稳定性，在陶瓷装饰、玻璃和高端塑料领域具有应用潜力。本研究基于高活性纳米多孔 $\text{SiO}_2(\text{Mnt})$ ，开发了适用于喷墨打印的高性能 V-ZrSiO_4 颜料的固相合成新方法，展现出工业化生产前景。

B04-41

基于分子动力学模拟的埃洛石纳米管卷曲机制研究

余跃宇、刘鑫、侯佳馨、吕国诚*、廖立兵

中国地质大学（北京）

埃洛石纳米管 (Halloysite nanotubes, HNTs) 因其独特的一维中空管状结构而在多个领域展现出重要的应用价值。有观点认为天然 HNTs 来源于高岭石片层的卷曲，并且通过高岭石的插层-剥片处理成功制备出类 HNTs 结构。虽然基于四面体-八面体尺寸不匹配和四面体旋转弯曲的理论模型在一定程度上解释了 HNTs 的卷曲机制，但是其难以解释卷曲取向等关键问题，而目前常规实验方法也在该方面存在明显局限。本研究通过构建接近真实尺度的高岭石片层模型 ($100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$)，采用大规模分子动力学模拟研究了高岭石片层的动态卷曲行为，并基于键长、键角及多面体体积、形变等结构参数的定量分析深入探究了 HNTs 的卷曲机制。研究结果表明：（1）硅氧四面体平均体积变大，硅氧四面体层呈现膨胀特征，其中 Si -顶氧键长增加而 Si -底氧键长缩短，顶氧相关键角减小而其他键角增大，同时 Si 原子间距增大且 Si-O-Si 键角增大；（2）铝氧八面体平均体积减小，铝氧八面体层表现出收缩趋势，其中平行于卷曲轴方向的铝原子间距增大而其他方向减小。这一结果直接支持了经典的四面体-八面体尺寸不匹配理论，且表明铝氧八面体层的各向异性收缩可能是驱动高岭石片层卷曲的重要因素。本研究从原子尺度揭示了高岭石片层卷曲成管的结构演化机制，不仅深化了对 HNTs 形成机理的理论认识，而且为其功能化应用和性能优化提供了参考。

B04-42

含 N/O/P 活性位点多孔材料的合成及其吸附重稀土性能

肖斌*

赣南科技学院

重稀土元素是战略资源，中国南方富含这类资源。由于其在低浓度、高杂质溶液中的分布，回收这些资源具有战略意义。吸附法因其适用性、便捷性和无二次污染而成为回收重稀土的理想方法，关键在于吸附材料的性能。本研究以钆(III)为模型，制备了含 N/O/P 官能团的多孔吸附剂，并探讨了其对钆(III)的吸附性能。研究发现，含 N/O 官能团的多孔聚合物 Tp-MEL 和 TFPM-BTD 对钆(III)有高吸附容量和选择性，且在多次循环后仍保持较高吸附效率。含 P 的 HCCP-TAT 聚合物展现了极高的吸附容量和效率，表明 N/P 官能团能显著增强吸附性能。此外，以脐橙皮为碳源制备的多孔炭 NOPAC-GLY-60 也显示出良好的钆(III)吸附性能，证实了 N/O 官能团对提高吸附性能的重要性。这些研究为开发高效、低成本的重稀土吸附剂提供了新思路。

B04-43

钙长石表面改性策略及其对低密度聚乙烯的性能增强

谢庆斌、庄官政、张庆成、袁鹏*

广东工业大学 环境科学与工程学院, 广州 510006

为进一步提升低密度聚乙烯 (LDPE) 作为结构材料的应用价值, 以天然矿物钙长石 (Anorthite) 为增强相, 通过 γ -甲基丙烯酰氧基丙基三甲氧基硅烷 (KH570) 表面改性和熔融共混工艺制备了 An/LDPE 复合材料, 系统研究了复合材料的力学性能、断面形貌和热稳定性。An 作为独特的架状硅酸盐矿物, 其刚性铝硅氧骨架结构赋予了其优异的热稳定性和机械性能。然而, An 表面富含的极性羟基使其与非极性 LDPE 基体存在界面不相容性问题, 导致填料分散性不佳和界面结合强度不足, 严重限制了其增强效果。针对这一问题, 本研究采用 γ -甲基丙烯酰氧基丙基三甲氧基硅烷 (KH570) 对 An 进行表面改性。通过 FT-IR、XPS 和 SEM 等表征手段证实, KH570 与 An 表面羟基发生缩合反应形成了稳定的 Si-O-Si 共价键界面。改性后 An 的接触角由 18.8° 显著提升至 68.7°, 实现了从亲水性到疏水性的有效转变, 显著改善了其在 LDPE 基体中的分散均匀性, 从而使改性后的 LDPE 基复合材料拉伸强度、弹性模量和热分解残留量较纯 LDPE 分别提升了 39.2 %、50 % 和 67 %。本研究通过界面化学调控成功优化了天然钙长石的表面特性, 显著增强了 LDPE 基复合材料的力学性能和热稳定性, 为开发环境友好型高分子复合材料提供了创新思路, 在建筑模板、包装材料等工程应用领域展现出重要的应用价值。

B04-44

粉煤灰微球复合钙化合物和 TiO₂ 超疏水自清洁材料制备研究

马佳蓉、李子康、孙思佳、丁浩*

中国地质大学 (北京)

随着工业化和城市化进程的加速, 粉煤灰等工业固废的堆积问题日益严峻, 应对其引发的环境污染和资源浪费已成为全球性挑战。同时, 传统建筑维护方法效率低、成本高且存在安全隐患, 急需开发兼具自清洁与耐候性的新型防护材料。超疏水材料因其独特的表面润湿性在建筑防护领域展现出巨大潜力, 但其耐紫外老化性能不足和原料成本高等问题制约了实际应用。基于上述背景, 本文以粉煤灰微球 (FAMs) 为载体, 通过在其表面负载钙化合物 (CaC) 和 TiO₂ 构建微纳米二元结构复合颗粒 (FAMs-CaC/TiO₂) 及其低表面能物质改性制备了超疏水自清洁材料, 对制备过程主要影响因素进行了考察和优化, 对 FAMs-CaC/TiO₂ 及其改性自清洁涂层的结构和性能进行了研究。

研究了采用机械力研磨法, 通过将 FAMs-CaC 和金红石型 TiO₂ 共混研磨制备具有微纳米二元结构的 FAMs-CaC/TiO₂ 复合颗粒及其性能。得到优化的制备工艺条件为: TiO₂ 复合比例 30 %, 研磨球料比 4:1; 研磨时间 90 min; 转速为 1200 r/min; 固含量 20 %。FAMs-CaC/TiO₂ 中的 TiO₂ 颗粒均匀分布于 FAMs-CaC 表面, 使表面粗糙度增强, 微纳米二元结构特征提升。FAMs-CaC/TiO₂ 紫外线吸收能力相比 FAMs-CaC 显著提高。研究了 FAMs-CaC/TiO₂ 经 HDTMS 改性制备超疏水自清洁材料的性能。优化条件制备的 FAMs-CaC/TiO₂ 改性产物涂层水接触角为 165.2°, 滚动角为 5°, 超疏水自清洁性能显著优于 FAMs-CaC 改性涂层。

B04-45

管状埃洛石用于石灰石煅烧粘土水泥的制备: 影响因素和机理研究

玉婷、张佰发、袁鹏*

广东工业大学环境科学与工程学院

埃洛石 ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 是一种 1: 1 型的纳米管状粘 (黏) 土矿物, 由一层硅氧四面体 [SiO_4] 和铝氧八面体 [AlO_6] 构成。作为一种自然产出的矿物, 埃洛石不仅可以独立成矿, 在华南花岗岩风化残积土及离子吸附型稀土尾矿中也常见, 其潜在资源量可观。而要将表层土和尾矿等富含埃洛石矿物的低值资源进行利用, 须首先掌握纯相埃洛石在特定体系中的性能表现。石灰石煅烧粘土水泥是一种低熟料比的新型三元混合水泥。其中, 使用煅烧粘土 (常用煅烧高岭石) 和石灰石部分取代水泥熟料, 具有降低 CO₂ 排放量和能耗等优点。鉴于埃洛石在矿物学上属于高岭石亚组矿物, 其火山灰活性与高岭石较为相似, 因此煅烧埃洛石很可能可以作为制备石灰石煅烧粘土水泥的原料。尤其是, 埃洛石具有特殊的纳米管状结构, 且其性质也与高岭石有一定差异, 例如, 煅烧后埃洛石会产生较丰富的新增表面羟基。因此, 其作为高火山灰

活性材料用于石灰石煅烧粘土水泥的制备,可能具有不同的矿物界面反应性质,值得开展针对性研究。然而,相关研究并未开展。

为此,本研究将管状埃洛石应用于石灰石煅烧粘土水泥的制备,探究了埃洛石煅烧的相变过程,分析了埃洛石煅烧温度对石灰石煅烧粘土水泥力学性能和微观结构的影响。结果表明:低温煅烧(550 °C)的埃洛石矿物结构没有发生明显变化,火山灰活性低,所制备的石灰石煅烧粘土水泥结构松散,抗压强度低。650 °C-850 °C煅烧的埃洛石其晶体结构被破坏,转变成具有高火山灰活性的 SiO_2 和 Al_2O_3 , 该温度区间的煅烧埃洛石制备的石灰石煅烧粘土水泥结构致密,抗压强度高。尽管存在水泥的稀释效应,但由于煅烧埃洛石和石灰石的协同作用,石灰石煅烧粘土水泥体系中的水化产物半碳型水化铝酸钙,单碳型水化铝酸钙和水化硅铝酸钙凝胶的生成量较参照样(取代率为 0.0 %)高,孔隙填充效果更佳;加之煅烧埃洛石新产生的管外羟基能与水泥水化产物紧密结合,故其力学性能得到提高。

研究还发现,煅烧埃洛石比煅烧高岭土所制备的石灰石煅烧粘土水泥具有更高的早期强度。这主要是由于埃洛石的特殊纳米管状结构,使得体系反应能同时在管内和管外发生,从而加速反应的进行并提高产物的早期强度。

本研究证明埃洛石是一种具有高火山灰活性的胶凝材料。上述结果为埃洛石乃至以其为主要矿物组分的华南离子吸附型稀土尾矿或花岗岩残积土的资源化利用提供了依据。

B04-46

高熵水滑石除氟剂制备与性能初探

牛继南*, 罗颖哲, 孙力, 姚超耀, 刘芳芳, 冯培忠*

中国矿业大学材料与物理学院矿物能源和环境材料实验室

当前,氟离子污染是饮用水面临的重要化学风险之一。吸附法以其操作简便、成本低廉等优点,成为解决这一问题的关键途径。而吸附法的核心在于开发高效的氟离子吸附材料。在众多吸附剂中,层状双氢氧化物(LDHs)因其制备简单、层板组成和层间阴离子类型可调、以及高吸附容量等特性,被认为是极具前景的氟离子吸附剂。本研究中从组成、合成方法、改性策略、吸附性能影响因素、吸附机制等五方面对 LDHs 在氟离子吸附研究现状进行了归纳总结;对 LDHs 及其衍生物进行了明确分类。基于当前研究现状,提出通过增加组元来提升水滑石除氟性能,分别考察了 M(II)、M(III)、M(II+III)位置多组元高熵化,成功合成了 CoNiCuMgCaAl-LDH 、 NiFeAlCrLaPr-LDH 、 NiMgCoFeAlCr-LDH , 并对其除氟性能、影响因素等进行了研究。

B04-47

管状埃洛石/纳米多孔氧化铝复合材料制备及除氟性能研究

智明阁, 刘鸿鹏, 孙力, 刘芳芳, 牛继南*, 冯培忠*

中国矿业大学材料与物理学院矿物能源和环境材料实验室

传统的除氟方法往往难以达到世界卫生组织和各国设定的严格氟含量标准,因此迫切需要开发先进除氟材料以高效去除水体中的氟离子。本研究合成了一种新型、高效低成本的埃洛石/氧化铝复合材料除氟材料。通过将成本低廉的天然管状埃洛石与纳米多孔 γ -氧化铝以共沉淀—活化方法相结合,在最佳条件($\text{pH} = 8$, 600 °C煅烧)下,该材料展现出卓越的朗缪尔理论最大吸附容量,高达 225.8 mg/g。在溶液初始 $\text{pH} = 3-8$ 的广泛范围内均表现出高效率,并且对常见的阴离子干扰具有良好的耐受性。动力学分析表明,活性位点吸附是主要的吸附机制,而热力学模型则揭示了弗罗因德利希吸附行为,这表明吸附发生在异质表面。该埃洛石/氧化铝复合材料在低剂量下即可实现高效吸附,且成本低,在处理含氟工业废水方面具有巨大的潜力。

墙报

B04-P01

多孔 Ni-Al 的瞬时反应行为、3D 微观结构控制与高温抗氧化性能

张宇*、秦德武

中国矿业大学

多孔 Ni-Al 金属间化合物具有合金材料和多孔材料的共同特性, 如高孔隙率、低密度、高吸附性和良好的抗氧化性。自放热反应具有温度梯度高、冷却速度快的特点, 试样被瞬间且同时点燃, 总反应时间从几秒到几十秒。然而, 由于反应过程中释放出大量热量, 体系中最高温度超过 Ni-Al 化合物的熔点, 使样品球化成不规则形状, 同时内部孔隙塌陷或堵塞。因而, 本研究采用快速高效的自放热反应, 结合不同的升温速率制备出具有不同反应行为和孔结构特征的多孔 Ni-Al 化合物。同时分析了升温速率对试样的产物组成、宏观形貌、微观结构和燃烧行为的影响。结果表明: 加热速率对反应产物 NiAl_3 和 Ni_2Al_3 相没有影响。随着升温速率从 $2\text{ }^\circ\text{C/min}$ 增加到 $20\text{ }^\circ\text{C/min}$, 多孔产物的孔隙率由 61.2% 下降至 29.5% 。升温速率较高 ($\geq 10\text{ }^\circ\text{C/min}$) 时, 试样局部出现严重的变形和熔化现象。当升温速率设为 $5\text{ }^\circ\text{C/min}$ 时, 最终产物由丰富的孔隙和稳定的骨架组成, 多孔 Ni-Al 化合物内部的元素分布均匀, 孔隙结构稳定, 尤其在高温氧化 ($600, 700$ 和 $800\text{ }^\circ\text{C}$) 过程中能够在骨架表面形成致密且连续的氧化层, 可以满足过滤、分离和催化过程中耐腐蚀和高温氧化的要求。

B04-P02

Controllable Modulation of MoS_2 Structure and Its Application in Electrocatalytic Hydrogenation of HMF

Xiaoxiong Li*

HNU

Electrocatalytic hydrogenation (ECH) enables the sustainable production of chemicals under ambient condition; however, suffers from serious competition with hydrogen (H_2) evolution and the use of precious metals as electrocatalysts. Herein, molybdenum disulfide is for the first time developed as an efficient and noble-metal-free catalyst for ECH via Controlled tuning of defect proportion. This interlayer engineering regulates phase transition ($2\text{H} \rightarrow 1\text{T}$), and effectively ameliorates electronic configurations and surface hydrophobicity to promote the ECH of biomass-derived oxygenates, while prohibiting H_2 evolution. The optimal one intercalated by D- MoS_2 is capable of hydrogenating 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) to 2,5-Bis(hydroxymethyl)furan (BHMF) with high Faradaic efficiency of 86% and outstanding conversion of 70% at -0.2 V (vs. RHE), outperforming MoS_2 and other conventional metals. Such prominent performance stems from the enhanced chemisorption and surface hydrophobicity. The chemisorption of H intermediate and HMF, synchronously strengthened on the edge-sites of D- MoS_2 , accelerates the surface elementary step following Langmuir-Hinshelwood mechanism. Moreover, the improved hydrophobicity benefits HMF affinity to overcome diffusion limitation. Discovering the effective modulation of MoS_2 from a typical H_2 evolution electrocatalyst to a promising candidate for ECH, this study broadens the scope to exploit catalysts used for electrochemical synthesis.

B04-P03

NCM 三元锂电池正极的无损电化学容量恢复

杨朔、白辰昱、焦一丁、茆伟、李方琰、宋杰、李亦冉、李录河、邓昱、王鹏、张晔*

南京大学现代工程与应用科学学院

层状氧化物 $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ (NCM) 是一种高性能锂离子电池正极材料, 但其循环过程中易发生

活性锂流失和有害相变，导致容量衰减和电池失效。目前，针对废旧电池中降解 NCM 正极的回收通常依赖复杂的拆解和再锂化工艺。本研究提出了一种非破坏性电化学修复策略，无需拆卸电池即可直接再生降解的 NCM 正极。通过恒电位锂化处理，我们将降解 NCM 的容量从 66.0 mAh/g 显著恢复至 96.2 mAh/g（达初始容量的 96.5 %）。结构表征表明，该工艺不仅实现了正极材料的再锂化，还能将循环过程中形成的阻碍锂离子扩散的异质相重构为原始层状相，从而改善离子扩散动力学。应用此方法后，NCM 正极的循环寿命和能量输出分别提升至 2.18 倍和 2.00 倍。这种简便高效的再生技术为锂电正极材料的可持续发展提供了新思路。

仅发表论文

B04-PO01

铜渣与废二硅化钼棒协同熔炼高效回收钼铁：难熔金属硅化物分解与原位合金形成的热力学实验机制

刘志*

中国矿业大学

为了实现铜渣与含钼固废的资源增值化，无害化利用，提出了铜渣与废硅钼棒协同熔炼制备钼铁合金的方法。然而，协同熔炼过程中铜渣中主要物相的耦合反应机制与废硅钼棒中 MoSi_2 的分解行为还不确定。通过热力学模拟计算与时间梯度等温热处理实验对多元固废协同熔炼过程进行分析与验证。分析表明，铜渣中的主要成分铁橄榄石与磁铁矿对 MoSi_2 的分解有着协同促进的作用。C 通过与 Mo 形成稳定的碳化物，可以促进 MoSi_2 的分解，并且与 MoSi_2 中低价 Si 协同还原熔体中的铁氧化物。CaO 可以与反应产物结合，从而降低反应的吉布斯自由能，进而促进 MoSi_2 与铁橄榄石相的分解，促进有价金属 Mo, Fe 的还原与金属化；并且 CaO 最终生成稳定的熔点较低的硅酸盐相，优化渣系，促进合金的沉降与渣的分离。二硅化钼可以直接分解也可以逐步分解，反应环境对其分解行为有影响，动力学是其分解的主要限制环节。铜渣与废硅钼棒协同熔炼过程可分为接触反应，捕集汇聚，炉渣改性合金沉降。使用铜渣与废硅钼棒协同熔炼还原，铁，钼，铜的回收率可分别可达到 98.62 %，99.12 %，97.13 %。验证了铜渣与废硅钼棒协同熔炼提取有价金属工艺的可行性。从理论到实验研究，提供了一条高效、可持续的两种固废的资源增值化利用的路径。