



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

**B02-生态环境材料**  
**B02-Eco-materials**

**Organized by**

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

## B02. 生态环境材料

分会主席：聂祚仁、陈水挟、郭利民、司知鑫

### B02-01

#### 全组分固废沥青路面高质再生技术

吴少鹏\*

武汉理工大学

沥青路面在维修养护过程中，不可避免地会产生大量沥青路面回收料（Reclaimed asphalt pavement, RAP）。RAP 中含有部分沥青和集料，对 RAP 的利用有利于减少天然集料开采、降低环境负荷。但是 RAP 经长期服役后，其中的沥青和集料技术性能衰减，难以满足使用要求，导致再生沥青混合料（Recycle asphalt mixture, RAM）存在着部分路用性能不足、抗滑性能不足、RAP 掺量较低等难题。与此同时，我国道路建设体量巨大，每年要消耗集料 4-6 亿吨，优质天然集料急需替代资源。针对上述问题，开发了全组分固废沥青路面高质再生技术，通过抗滑耐磨钢渣集料和高强抗变形环氧沥青的协同作用，对 RAM 中沥青胶结料和集料进行补强，显著提高了 RAP 掺量和 RAM 的高温稳定性，RAP 掺量提高至 80% 以上，RAM 动稳定度超 10000 次/mm，降低了 RAM 生产过程中挥发性有机物（Volatile organic compound, VOC）排放，实现了 RAM 中集料部分的全固废利用并进行了实体工程应用，节约了天然集料、降低了环境负荷，促进了沥青路面的绿色可持续发展。

### B02-02

#### 无铅压电陶瓷及其应用的研究进展

朱建国\*、吴家刚、邢洁、郑婷

四川大学

随着社会的不断发展，人类对环境保护日益重视。许多国家已经立法，在电子电器中禁止使用铅、镉、汞等有毒有害材料。目前使用的压电陶瓷材料还是以锆钛酸铅（PZT）为主，因此，积极开展无铅压电陶瓷研究，具有重大的社会经济意义。

科学家们已经研究了众多的无铅压电材料，其中包括钛酸钡（BT）、钛酸铋钠（BNT）、铌酸钾钠（KNN）等。一些无铅压电材料的性能已经接近甚至超过 PZT 材料的性能。本文将简要介绍无铅压电陶瓷及其器件的近期研究进展，并对未来的发展趋势进行展望。

### B02-03

#### 回收聚苯乙烯废塑料制备新型环境材料—PEG/TiO<sub>2</sub>/PS 复合相变涂层

冯庆革\*、程晓蝶、李想、倪婉林

广西大学资源环境与材料学院

聚苯乙烯(PS)作为常见废弃塑料之一，其回收及高值化研究已经得到广泛关注；同时相变涂层的开发利用可以在一定程度上缓解不可再生能源的消耗。本文以钛酸四丁酯(TBOT)为前驱体，通过简便的溶胶-凝胶法制备了聚乙二醇/二氧化钛形状稳定的复合相变材料(PEG/TiO<sub>2</sub> ss-CPCM)，并通过简易的滴涂法，将 PEG/TiO<sub>2</sub> 与 PS 废塑料复合制备 PEG/TiO<sub>2</sub>/PS 复合相变涂层，采用 SEM、XRD、FT-IR、DSC 和 TGA，加热-冷却循环、耐磨损和温度管理等实验测试涂层的基本性能。结果表明，PEG/TiO<sub>2</sub>/PS 的熔融焓为 125.5 J/g，结晶相变焓为 108.9 J/g，涂层经过 150 次的磨损和 300 次的加热-冷却相变循环后，仍保持着良好的储能特性，在 240°C 高温范围内具有良好的热稳定性。作为一种新型的环境材料，PEG/TiO<sub>2</sub>/PS 复合相变涂层制备简单、无需使用外加粘合剂便能够在室温下自固成膜，同时具有可靠的使用性能和应用潜力(高储能能力、循环可靠性、热稳定性、耐磨损和热管理)。为 PS 废塑料的高值化利用、提高建筑能效、减少能源消耗提供了新思路。

**B02-04****分子筛基吸附材料及其挥发性有机物吸脱附性能研究**

郭利民\*

华中科技大学

挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 排放控制是“十四五”期间大气污染物控制的重点。在众多 VOCs 治理技术中, 吸附技术简单经济并高效易行, 且可回收有价值的 VOCs 和避免 VOCs 向 CO<sub>2</sub> 的转化, 符合中国“减污降碳”的战略目标。其中, 吸附剂材料是吸附技术的核心, 沸石分子筛因比表面积大、孔结构和疏水性可调以及热稳定性高等优异特性而具有广阔应用前景并广受关注。

我们团队针对传统沸石分子筛吸附剂扩散受限的问题, 通过多级孔沸石构建、粒径/形貌调控和金属掺杂等手段, 开展了系列 MFI 型沸石分子筛基吸附剂材料开发, 并针对这些材料对多种 VOCs 及干燥或湿润条件下吸附和扩散特性进行了研究, 明晰了一些影响吸附性能和循环再生性能的关键因素, 阐明了一些相关 VOCs 吸附机理。主要研究内容和结论如下:

微孔结构是动态吸附 VOCs 的主要吸附位点, 介孔结构的主要作用是减小扩散限制以提升微孔利用率。多级孔沸石和粒径/形貌调控均是改善 VOCs 分子扩散性能并提升 VOCs 吸附性能的有效方式。甲苯扩散速率与微孔扩散路径长度呈现出良好的相关性, 微孔扩散路径越短, 甲苯扩散速率越快。传统 MFI 型沸石在循环过程中吸附量下降的原因是部分微孔的完全堵塞, 通过引入晶内介孔可有效提升 MFI 型沸石的循环再生性能。金属掺杂影响 MFI 型沸石与 VOCs 分子的相互作用和亲疏水性, 吸附剂与甲苯的相互作用与干燥条件下吸附性能呈正相关性, Al 元素会增强极性使 MFI 型沸石疏水性下降, 而 Ti 元素的掺杂则能有效增强疏水性能。甲苯在传统、纳米和多级孔 MFI 型沸石上的吸附更符合 Freundlich 模型。对于吸附动力学, 甲苯在各种 MFI 型沸石上的吸附更符合准一级动力学模型。这些研究结论对于我们开发高效 VOCs 吸附用沸石分子筛基材料具有良好的指导和借鉴意义。

**B02-05****二维多功能异质结通道的设计构筑及其在战略元素分离中的应用研究**

李湛, 陈熙萌

兰州大学教育部稀有同位素前沿科学中心

氢同位素、锂同位素以及稀土元素均为重要的战略元素, 在国防与民用工业中具有重要意义。然而目前使用的纯品大多依赖进口, 因此发展高效简单的分离纯化技术至关重要。然而, 由于具有相似的性质和尺寸, 使得这类元素的高效分离成为巨大难题。与其他分离方法相比, 膜分离技术因其无相变、无添加剂且易自动化操作等优势, 广泛应用于药物生产、血液透析、水净化与处理等领域。膜分离技术主要依靠尺寸筛分作用来实现不同尺寸物质间的分离, 然而氢同位素、锂同位素以及稀土元素之间的尺寸差异为亚纳米量级, 现有技术无法实现此类物质之间的高效分离。氧化石墨烯膜作为新兴的二维分离膜, 具有独特的弹性、易调控二维层间通道和易于修饰的二维界面, 在分离分析领域具有极大的应用潜力。然而, 该类膜的二维层间极易发生溶胀并扩层, 导致尺寸筛分性能失效。目前, 多利用阳离子插层交联策略对二维膜层间距进行固定与调控, 从而抑制膜的溶胀扩层。然而在混合离子中, 不同离子均可以进入层间, 难以实现层间距的特异性调控, 导致筛分性能失效。

因此, 我们通过多学科交叉研究, 阐明了离子分子在石墨烯层间二维亚纳米空间中的分布模式, 构建了具有全新结构和特殊功能的多元二维异质通道, 并创造出具有类细胞离子通道功能的二维异质通道, 同时揭示了离子分子在二维通道中的识别与分离机制。这些创新工作突破了传统膜分离的应用极限, 实现了氢同位素、锂同位素和稀土离子的高效分离, 为解决战略元素分离中的“卡脖子”问题提供了全新的思路, 也为国防战略资源开发、先进装备制造以及能源环境等领域的发展提供了重要支持。

**B02-06****光热催化在气态污染物催化消除中的应用研究**

贾宏鹏\*

中国科学院城市环境研究所

光热催化技术以太阳能为能源,充分利用太阳光谱为催化反应供能,其中高能紫外光激发半导体催化剂产生电子-空穴对,电子以及衍生的强氧化性氧物种可分别用于还原反应和氧化反应,红外区域的热效应显著提升催化床层温度,越过反应能垒,驱动催化反应的发生。对光热催化的研究有利于降低能量消耗和提高生产效率,其应用核心在于高活性光热催化剂的设计以及反应机理的探索。

对于挥发性有机物(Volatile organic compounds, VOCs)催化氧化反应,过渡金属氧化物表现出优越的催化氧化反应活性,并且大多数过渡金属氧化物是半导体,通过合理改性可应用于光催化反应中。构建过渡金属氧化物异质结构可以改善材料的物理化学性质,调控催化活性位点,有利于氧空位和活性氧物种的产生,并且异质结构工程也是一种有效策略来增强半导体的光吸收和延长电荷载流子的分离效率,有利于光催化反应过程。本工作设计合成了一系列锰基和钴基氧化物异质结构光热催化剂,探究其对甲苯光热催化氧化降解机理及自然光下甲苯催化降解的可行性。实验表明,相较于传统电加热催化氧化反应,由光照引起的热效应对催化氧化活性有促进作用,这种优势来源于光催化和光活化(氧物种)行为的存在。

在CO<sub>2</sub>催化还原反应过程中,负载型催化剂中原子利用率的增加及对配位结构的调控对于提升光热催化反应效率至关重要。缺陷工程是一种增强电荷载流子分离效率,从而提升光催化活性的有效策略。本工作通过湿浸渍法制备了Ni/La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合物,在聚光条件下表现出170.9 molH<sub>2</sub>·gNi<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>的出色活性。实验证明,由光照引起的光热效应促进电荷迁移速率,原位产生的氧空位促进电荷分离和反应物(CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>)的吸附,从而增强催化反应活性。此外,在Ru/TiO<sub>2</sub>催化剂上研究表明抑制强金属载体连接(Strong metal-support interactions, SMSI)有利于电子从Ru转移到载体形成缺电子态,增强甲烷的吸附,提升催化反应活性。

## B02-07

### 异质结材料的设计、制备及能源与环境催化性能

司知鑫\*、吕尚纯、裴梦溪、刘懿水、刘鸿志

清华大学深圳国际研究生院

采用负载丰富活性位的低维异质结的设计策略制备具有快速电荷转移及高密度催化活性位点的异质界面催化剂,可以协同改善材料的电荷传导能力与催化活性,从而提高催化转化效率:采用两步沉淀法构建β-FeOOH量子点和相同晶格的纳米棒建立同材异质结,减少界面缺陷的产生,从而促进光生电荷分离效率,使无法降解甲苯的FeOOH低维材料具有优异的甲苯催化氧化性能;采用光还原法在C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>纳米片表面负载Pd(SA),Pd(SA)与近邻的C和N原子组成高活性产氢位点与远离单原子Pd的C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>纳米片形成同材异质结,电荷分离效果显著提升;利用碳量子点稳定法将Ni(SA)负载到锐钛矿TiO<sub>2</sub>纳米片表面,制备成具有“skin-body”二维同材异质结构的Ni SA/TiO<sub>2</sub>(A)催化剂,促进光生电荷的快速转移,产氢速率达到2900 μmol·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>;在纳米氧化铈表面生长CoO纳米片和CoAl-LDH纳米片,形成具有优异催化活性的二维异质界面,促使电子向CeO<sub>2</sub>迁移可以充分发挥CeO<sub>2</sub>活化氧的能力生成·O<sub>2</sub><sup>-</sup>,同时空穴向LDH迁移可以与富含羟基的表面促进·OH自由基的产生,合理化调控组分电子结构,从而使得催化剂具有良好的催化性能。

## B02-08

### 废食用油建材资源化利用研究进展

陈美祝\*

武汉理工大学

将废旧轮胎制备成胶粉,应用于沥青路面建设,是废旧轮胎资源化、无害化利用的主要途径之一。然而,胶粉改性沥青存储稳定性差、施工温度高且易产生有毒有害气体,是限制其制备和应用的主要技术瓶

颈。本研究分别采用微波活化、废食用油膨胀和酸碱溶液浸泡法预处理胶粉，相应地制备出了不同处理的胶粉改性沥青。通过储存稳定性实验评价了不同处理方法下胶粉与沥青的相容性，利用动态剪切流变仪研究了预处理胶粉改性沥青的流变性能。采用  $\text{H}_2\text{S}$  气体检测仪和气相色谱-质谱联用技术对预处理后的胶粉和制备后的胶粉改性沥青进行了烟气排放研究。实验结果表明，预处理后的胶粉微观结构和官能团发生了很大的变化，表面活性提高。胶粉预处理后制备的改性沥青其贮存稳定性明显提高，以微波/废食用油复合处理得到的效果最优，分离指数降低 40.91%。此外，对胶粉预处理有效减少了  $\text{H}_2\text{S}$  和烟气排放，胶粉在  $\text{NaOH}$  溶液中浸泡 30 min 后，制备的胶粉改性沥青总烟气浓度降低 21.54%。综上所述，对胶粉预处理后用于沥青的改性，不仅可有效减少其对环境的污染及实现资源的高附加值利用，而且可显著提高沥青路面的服役性能，具有重要的现实意义。

## B02-09

### 细菌纤维素基复合气凝胶的制备与性能分析

王晓\*、侯风雷、代东波、苏嘉洛  
大连工业大学

细菌纤维素气凝胶 (BCA) 因其良好的降解性、生物相容性和较高的孔隙率，发挥出良好的隔热性能等功能。但由于 BCA 阻燃性能较差，限制其使用范围。本研究使用原位生物矿化技术，对 BCA 进行改性处理。通过使用以葡萄糖酸钙作为单一碳源的培养基进行细菌培养，使所获得的 BCA 中产生羟基磷灰石 (HAP) 对气凝胶进行改性。采用 FTIR、XRD、SEM、TGA 和 Raman 等手段对原位矿化改性 BCA 及其燃烧残炭进行表征，发现通过原位矿化在细菌纤维素纤维表面附着 HAP。相比较于未改性 BCA，原位矿化改性 BCA 的 LOI 值从 16.21% 升高至 28.98%，失重率下降了 21.2%，燃烧残炭的石墨化程度提高，导热系数略有升高从 0.0466 W/(m·K) 变化至 0.0642 W/(m·K)，具有较好的应用前景。

## B02-10

### 二维材料的吸附现象及其在资源可持续发展中的应用

苏阳  
清华大学深圳国际研究生院，深圳，518055

二维材料具有大的比表面积及可调节的表面物化性质，是潜在的高性能吸附材料。然而针对二维材料的吸附研究较少，其性能及相关应用仍有待挖掘。本工作以二维材料的表面吸附现象为主题，研究二维新奇吸附现象并探索其在资源可持续发展中的应用。首先发现了化学还原的氧化石墨烯 (rGO) 对金离子的超高、超快吸附现象，提出了表面石墨烯区域及氧化官能团区域的调控是实现高性能金离子吸附的关键机制，基于这一实验发现，开发了利用 rGO 从电子垃圾中精准、连续回收金离子的方法，为解决电子垃圾污染和金资源循环发展提供了新的材料方案。再有，针对水体中多氟/全氟化合物的污染挑战及现有二维材料对其吸附效果不佳的难题，在 GO 纳米片制备了 1 nm 厚度的高分子层，获得了 GO 夹层的二维材料，实现了其对水中痕量多氟/全氟化合物的高容量、快速吸附，其吸附容量比现在吸附材料高近一个数量级，揭示了二维材料的平面结构及高分子层与吸附质之间丰富的分子间作用力是实现高效吸附的机制。

## B02-11

### 水中抗生素污染高效光催化治理用环境新材料开发

陈智\*  
中国计量大学

近年来，抗生素等污染问题日益凸出，对生态环境的影响日趋严重，已成为受到人们的广泛关注一类新型污染物，亟需对其开展有效治理，以实现生态环境保护 and 可持续发展。半导体光催化剂技术以太阳光为驱动，是实现水中抗生素污染物高效治理的一个有效途径，而高效光催化剂的开发是半导体光催化技术

的核心。本文根据近年水中抗生素污染物光催化治理所取得进展,提出了光催化降解抗生素污染物的改性策略。首先,开发了易溶于水的一维氰尿酸钾  $K_3[C_6N_7O_3]$ 棒状粉体,并成功应用于水中抗生素污染物高效均相光催化去除,以及乙醇中抗生素的高效多相光催化去除。其次,开发了一系列金属卤化物钙钛矿光催化剂新材料,并应用于水中抗生素污染物的多相光催化高效去除,深入研究了其界面作用机制以及反应机理。进一步开发了新型 MOF 基光催化剂材料,并应用于无牺牲试剂的纯水光催化产双氧水。此外,揭示了光催化技术在环境污染治理领域的独特作用,必将有助于抗生素等新型污染物的高效生态环境污染治理以及双氧水的高效生产。

## B02-12

### 水泥窑烟气 CO<sub>2</sub> 矿化钢渣制备建筑材料的研究与实践

Hui Wang\*, Ning Li, Shaowei Zhao, Yongchao Zheng

Beijing Building Materials Academy of Science Research

Steel slag is the most difficult solid waste for resourceful utilization in metallurgical slag. The low cementitious activity and poor volume stability of steel slag are the main reasons that restrict its large-scale utilization in building materials. However, steel slag shows excellent carbonization properties due to the high alkalinity. The accelerated carbonation treatment of steel slag is expected to solve the problem of volume stability and make it safely used for building materials. It also can store and utilize a large amount of carbon dioxide in industrial waste gas to achieve coordinated consumption of solid waste and carbon dioxide. Most of the existing researches are focused on carbonized steel slag powder or carbonized curing concrete made with steel slag powder, but there are few researches on carbonized steel slag used as building aggregate. In this study, steel slag sand treated by two different processes of hot splashing and pressure-hot stew was used as the research object, and the performance of these two kinds of steel slag sand carbonated under different conditions was systematically studied, including apparent density, particle size distribution, carbonation efficiency, autoclave pulverization rate, autoclave stability and so on. Furthermore, the influence laws of carbonization reaction rate, product compositions and microstructure evolution of steel slag particles were studied by the combination of microscopic analysis and thermodynamic simulation, and the mechanism of carbonization reaction of steel slag particles was clarified. The research provides the possibility and theoretical basis for the application of carbonized steel slag as fine aggregate.

## B02-13

### 碳微球/碳片作为高效率电磁波吸收剂

刘振霞、赵鑫波、姜晓辉、闫雪峰、于良民\*

中国海洋大学

本研究制备可作为高效电磁波吸收剂应用的纯介质吸波器。所用的材料是含类似辣椒素的 3,5-二甲基苯酚衍生物,丙烯腈与甲基丙烯酸甲酯共聚而成的微球,将二者复合制备成复合吸波材料。含类似辣椒素的 3,5-二甲基苯酚衍生物引入到碳微球中增了复合材料中的杂原子(N,O),以及结构中存在的官能团(-C-N、-NO 和 C-O),形成偶极化导致能量损失。另外,生成了一种微球附着或嵌入含类似辣椒素 3,5-二甲基苯酚衍生的碳片上的特殊形态,增加了非均质界面,产生界面极化弛豫进一步衰减电磁波。最终得了具有良好电磁波吸收性能的纯介质电磁波吸收材料,具体结果为在匹配厚度 2.5 mm 时,最强反射损耗可达-63.10 dB,最大有效吸收宽带可达 6.81 GHz (8.95-15.76 GHz),本研究很好地解决了纯介质电磁波吸收材料吸收强度弱,频带窄的问题。优异的电磁波吸收性能可归因于可调节的复介电常数和多种衰减机制,包括界面极化、偶极子极化和传导损耗。

## B02-14

### 暴露(001)晶面锐钛矿型二氧化钛紫外诱导乙二胺四乙酸亚铁氧化-络合脱除一氧化氮

徐源、刘紫薇、戴荧、高志、李著尧、欧阳金波、丁建桦、何飞强\*  
东华理工大学

循环再生乙二胺四乙酸亚铁(Fe(II)EDTA)是一种非常有效脱除烟气中一氧化氮(NO)的方法。然而, Fe(II)EDTA 再生需要消耗大量的再生剂。因此,我们合成了暴露(001)面的氟化锐钛矿型二氧化钛(nF-TiO<sub>2</sub>), 结合 Fe(II)EDTA 溶液, 在紫外光(UV)照射下脱除 NO。结果表明, 暴露约 30 % (001)晶面的 5F-TiO<sub>2</sub> 在 UV 照射下能显著促进 Fe(II)EDTA 对 NO 的脱除, 在 60 分钟内平均脱除率高达 94.83 %。机理研究表明, 5F-TiO<sub>2</sub> 具有优异的脱除性能主要是由于其(001)和(101)晶面适度共暴露可大大抑制电子-空穴复合速率, 加速 Fe(II)EDTA/Fe(III)-EDTA 循环, 形成催化氧化-络合协同脱硝。在这种协同作用下, 模拟烟气中的 NO 主要转化为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、N<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O。随后, 研究不同参数下 UV/Fe(II)EDTA/5F-TiO<sub>2</sub> 体系对 NO 的脱除性能, 结果表明, 合适的氧浓度(3 vol%)、适宜的 5F-TiO<sub>2</sub> 质量(0.5 g)、低温(30 °C)和弱酸性环境(pH=4)有利于 NO 的脱除。动力学表明, UV/Fe(II)EDTA/5F-TiO<sub>2</sub> 体系对 NO 的脱除是一个准一级过程。最后, UV/Fe(II)EDTA/5F-TiO<sub>2</sub> 脱硝技术显示出巨大的实际应用潜力。本研究为 Fe(II)EDTA 脱硝技术在烟气处理中的绿色低碳应用开辟了一条新路径。

## B02-15

### 聚丙烯腈纳米纤维上原位构建用于二氧化碳捕获的共价有机框架膜

王晓琼、陈水挟\*  
中山大学化学学院

随着工业化和城市化的推进, 二氧化碳的排放量不断增加, 导致大气中二氧化碳浓度上升, 从而引发全球变暖和气候变化等问题。因此, 高效捕获大气中过量二氧化碳显得尤为重要。共价有机骨架材料(COFs) 作为一类新型的有机多孔材料, 在二氧化碳吸附领域表现出巨大应用潜力。然而, 目前大多数 COFs 采用溶剂热反应合成, 该反应需要严格的反应条件, 如高温高压、惰性气氛和密封容器等。此外, COFs 应用主要集中在其粉末状, 粉末本身在均匀掺杂和深加工方面存在挑战, 这严重阻碍了 COFs 的实际应用。

本研究提出了一种简单可行的策略, 即通过可逆的“缩聚终止法”在聚丙烯腈(PAN)纳米纤维衬底上原位生长亚胺 COFs, 成功制备了柔性 COFs 基纳米纤维膜(PANm@BTCA-TPB COF 和 APANm@BTCA-TPB COF)。所制备的 PANm@COFs 复合膜具有稳定的晶体结构、丰富的官能团以及优异的热化学稳定性。此外, 该材料在有效捕获二氧化碳和分离二氧化碳与甲烷方面表现出了优异的性能。本文提出的在纳米纤维膜上原位生长 COFs 的方法不仅适用于其他希夫碱衍生的 COF 材料, 同时为构建满足各种应用场景要求的柔性 COFs 基膜提供了一种有效的策略。此外, 本研究显著提高了粉末 COFs 的利用效率, 为探索粉末 COFs 的应用潜力开辟了新方向。

## B02-16

### 有机-无机杂化改善吸水性胶囊与水泥基材料的界面结合

李悦夏\*  
北京工业大学

水泥基材料在服役过程中易开裂, 影响其耐久性。吸水性胶囊的外壳具有吸释水特性, 在水泥基材料中具有三重自修复机制: 力学触发胶囊, 芯材流出修复裂缝; 壁材吸水溶胀封堵裂缝; 壁材吸-释水促进自生修复。然而, 由于吸水性胶囊释水后会发生体积收缩, 减弱了其与水泥石体界面的结合。而界面结合强弱是微胶囊能否被裂缝触发的重要因素, 影响自修复效果。针对这一问题, 本文利用黏土矿物对吸水性胶囊进行改性, 以改善界面作用, 提升自修复效率。改性后的胶囊与水泥基体界面粘结强度提高了 88.86%, 且砂浆试样的力学强度提高、孔隙率降低; 抗压强度的自修复率达到 109.95%, 抗渗性自修复效率高达 254.56%。利用有机-无机杂化改性吸水性胶囊, 可增进水化产物在胶囊表面的沉积、降低胶囊溶胀率, 从而显著改善胶囊与水泥基体界面的结合, 提高吸水性微胶囊自修复效果。

**B02-17****氯硅酸钙对水泥性能的影响研究**

乔志杨\*

北京工业大学

氯化钙是水泥重要的无机外加剂，能够明显缩短水泥的凝结时间，提高水泥的早期强度，但是由于游离氯的问题，限制了其在工程中的应用。本研究使用氯化钙制备的氯硅酸钙矿物，采用 XRD，水化热和热重分析，孔隙液分析等方法，结合水泥强度数据，研究了含氯矿物对水泥熟料矿物相的水化速率，水泥水化产物以及游离氯的影响。研究表明，氯硅酸钙矿物掺入水泥中能够在 5% 掺量下提高 28d 龄期内水泥抗压强度，相同掺量下  $\text{Ca}_3\text{SiO}_4\text{Cl}_2$  的提升效果高于  $\text{Ca}_2\text{SiO}_3\text{Cl}_2$ ；氯硅酸钙能促进 28d 龄期内水泥全熟料矿物相的水化程度；氯硅酸钙掺入水泥中浸出的氯离子量较少，部分氯离子以 Friedel's 盐的形式存在。

**B02-18****二元共晶 PA-SA/SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> 的制备及其耐用储能涂层的性能研究**

倪婉林、冯庆革\*、李想、程晓蝶

广西大学

在太阳能蓄热系统中，脂肪酸（如硬脂酸（SA）、棕榈酸（PA）等）由于其高相变潜热、熔融一致性、过冷和相分离概率低、无毒性而更具优势，但在储能应用中存在易泄漏、导热系数低、疏水性差、一元 PCM 储热灵活性差等问题。本研究采用超声辅助溶胶-凝胶法，硅溶胶和商用 P25 为原料制得的  $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  为支撑基体，以 PA-SA 为相变材料，制备出了二元共晶 PA-SA/ $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  的相变材料。通过 SEM、FTIR、XRD、DSC 等手段表征材料的基本性能；结果表明，（1）基于热力学第二定律和共晶理论计算，PA-SA 最低共熔比为 56: 44，优化实验结果可以得出（PA-SA）：硅溶胶：P25 最佳比例为 4: 1: 2。（2）在不添加外部表面活性剂或改性剂的情况下，PA-SA 与  $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  的物理结合保持了材料表面的超疏水性，提高了相容性，最大封装率优化至 65%。（3）材料的相变温度为 51.3°C，最佳熔化潜热为 128.12 J/g，凝固潜热为 117.09 J/g，适量 P25 的引入提高了 53% 的导热系数。（4）制备出的高疏水涂层具有良好的自清洁效果，在 200°C 高温下性能稳定，经过 200 次加热-冷却循环、50 次磨损、15 天酸碱浸泡后，仍表现出稳定的相变储热性能。简单复合得到的定形 PA-SA/ $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  耐用且防尘，在太阳能转换利用方面有广阔的应用前景。

**B02-19****碳化再生水泥混凝土粉环保泡沫混凝土的开发**

陈东雨、陈美祝\*

武汉理工大学

从资源高效利用和环境保护的角度出发，将碳化的再生水泥混凝土粉替代部分水泥是一种减少废弃物的有效方法。本研究选择碳化和非碳化再生水泥混凝土粉作为辅助胶凝材料，探究不同水泥替代量(0%、20%、40%、60%)对泡沫混凝土和易性、微观结构和保温性能的影响。实验结果表明，碳化处理对再生水泥混凝土粉泡沫混凝土和易性的改善幅度在 1.08% ~ 5.61% 之间。随着碳化粉末替代量增加，对泡沫混凝土抗压强度的影响表现为先升高后降低，28d 的变化范围为 2.27 MPa ~ 4.47 MPa，这是由于方解石含量的增加能够有效加速水化进程。力学强度与基体密度呈正相关，两者的变化与隔热性能的变化呈相反趋势，在替代率为 60% 时，导热系数的最大降幅为 9.98%。这些研究结果表明，不同替代率的碳化再生水泥混凝土粉具有重要的应用潜力，对实现双碳策略具有重要意义。

**B02-20****硫铝水泥颗粒微胶囊裂纹敏感性及其快速自修复机制研究**

李玖娟\*

北京工业大学

本课题通过原位聚合和熔融冷凝法制备了以硫铝酸盐水泥颗粒为芯材, 异佛尔酮二异氰酸酯、三硬脂酸甘油酯为壁材的硫铝酸盐水泥颗粒微胶囊, 通过测试微胶囊的性能优化微胶囊的制备工艺, 提升微胶囊的整体性能。改变微胶囊壁材各成分组成, 调整微胶囊包封工艺, 调节微胶囊的裂纹敏感性。通过测试水泥基材料的工作性能、力学性能和自修复性能, 定性及定量分析微胶囊粒径、掺量对水泥基体自修复材料性能的影响并在此基础上进行优化。分别改变微胶囊掺量、微胶囊粒径、裂纹宽度和修复时间研究水泥基自修复材料的自修复性能及自修复机理。

**B02-21****废干电池粉末的特性及其对沥青物化性能的影响研究**

张建伟、陈美祝\*

武汉理工大学

废弃干电池的合理化回收利用对于社会的可持续发展具有重要意义。本文深入探讨了废干电池应用于沥青改性的可行性。从废弃的锌锰干电池中提取废干电池粉末(WDBP), 对其组成、微观形貌和重金属排放进行了表征。制备了不同 WDBP 含量的改性沥青, 研究了 WDBP 对沥青物化性能的影响。实验结果表明, WDBP 主要包含无机物碳和金属氧化物等物质。在酸雨和中性环境下, WDBP 中浸出的重金属元素以 Zn, Mn 和 Cd 为主, 其浓度超过中国一类地表水浓度限值。将 WDBP 用于沥青的改性, 可以物理固化 WDBP 中的重金属。同时, 可以提高沥青在中高温下的抗流动变形能力, 增强沥青的弹性恢复率, 提高其抗车辙性能。然而, WDBP 对沥青的低温性能有不利影响, WDBP 改性沥青更适合应用于交通繁忙、气候炎热的地区。此外, WDBP 改性沥青的化学结构没有发生变化, WDBP 对沥青的改性以物理共混为主。以上结论证实了将 WDBP 应用于沥青改性的可行性, 这为废电池的合理化回收利用和改性沥青的发展提供了一种新的途径。

**B02-22****高耐久超疏水 Cu<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> 基抗菌涂层的制备及其性能研究**

吉佳音、冯庆革\*

广西大学

超疏水抗菌涂层能有效减少细菌在材料表面的粘附及后续感染, 但由于其自身的脆弱性以及不可避免地会受到外界机械损伤或污染, 从而破坏涂层表面微纳米结构、污染涂层表面, 导致涂层抗菌性能下降甚至丧失。

本研究以提高超疏水抗菌涂层表面的机械和化学稳定性出发, 采用复合 Cu<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> 颗粒、1H,1H,2H,2H-全氟癸基三乙氧基硅烷为改性剂、硅酸锂为粘合剂, 使用喷涂法制备了可在室温条件下自固化的 Cu<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> 自清洁抗菌涂层。使用无机硅酸锂作为粘合剂, 强化了超疏水涂层与基材之间粘合, 提高涂层的耐久性, 经过 60 次磨损和 28 天酸碱浸泡等后, 涂层仍保持良好的疏水性能。避免了有机粘合剂使用中所带来的高温固化及有毒挥发性有机溶剂使用等问题。Cu<sub>2</sub>O 和 TiO<sub>2</sub> 的复合不仅实现了双尺度的涂层表面粗糙微纳米结构, 而且解决了 TiO<sub>2</sub> 在可见光范围的吸收能力很弱的缺点, 随着 Cu<sub>2</sub>O 负载量的增加, 复合材料在可见光范围内光吸收能力逐渐增强; 得益于其表面超疏水性和光催化协同杀菌性能, 涂层经过 6h 的太阳光照射后对大肠杆菌杀菌效率可达到 99% 以上。

本研究开发出具有高耐久超疏水多功能抗菌涂层, 提出了超疏水抗细菌粘附、光催化协同杀菌相结合的新型抗菌思路。

**B02-23****疏水 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>\_gel 的界面调控和颗粒控制及其在类芬顿降解中的反应研究**

李想、冯庆革\*、左晨  
广西大学

在高级氧化工艺中，金属基催化剂通常面临颗粒团聚和金属浸出的矛盾，从而带来催化剂反应活性和稳定性差以及污泥污染的问题，同时催化剂的界面反应机理尚不明确，这既不利于降解污染物还限制了高级氧化技术的应用。本研究基于一相转移法成功地快速合成了疏水  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-gel}$ ，调控了包覆界面疏水  $\text{SiO}_2\text{-gel}$  的形成，并于该过程复合  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的同时实现了  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的团聚体再分散。以 2,4-二氯苯酚 (2,4-DCP) 为污染物模型，考察了  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-gel}$  的疏水改性及疏水界面变化对类芬顿降解性能的影响，并进一步探讨了界面调控对  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-gel}$  的催化性能、尤其在 Fe 浸出方面的影响；结合主要活性物质的产生和 2,4-DCP 的降解路径，阐明了该体系的反应机理。研究结论有：(1) 在一相转移法的辅助下实现  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-gel}$  的快速制备，仅改变  $\text{HNO}_3$  投加量就能调控疏水界面且  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{-gel}$  分散性好，其中 HMDS 和  $\text{HNO}_3$  相互作用所形成的酸/碱微环境是实现同步疏水改性、界面包覆和控制颗粒再分散的关键。(2) 该材料的类芬顿催化活性佳，循环稳定性好，降解 2,4-DCP 的过程符合二级动力学模型。疏水改性提高了催化剂对污染物的预富集程度，有利于反应速率的提升并降低 Fe 的浸出，这从材料调控的角度支撑了有关界面的 L-H 机理，但过量富集反而限制了反应速率。(3) 降解过程是以非均相芬顿反应为主的，在主要活性氧化物  $\text{HO}\cdot$  和  $\text{O}_2\cdot^-$  的攻击下，发生 2,4-DCP 的脱氢、脱氯、开环和氧化反应等。

## B02-24

### Cu-Ce-MCM-41 介孔材料脱硝协同催化氧化 VOCs 性能研究

张新宇\*  
北京工业大学

以 Cu、Ce 为活性组分，采用浸渍法将其负载到水热法合成的 MCM-41 载体上，获得一种 Cu-Ce 改性的 MCM-41 介孔分子筛 (Cu-Ce-MCM-41)，实现对水泥窑烟气中 NO 以及 VOCs 的联合有效吸附。利用 X-射线衍射 (XRD)、扫描电子显微镜 (SEM)、透射电子显微镜 (TEM)、红外光谱 (FT-IR)、比表面积和孔隙分析仪 (BET) 和 X-射线光电子能谱 (XPS) 等对 Cu-Ce-MCM-41 的结构、形貌、表面官能团和化学状态进行了分析，并系统研究了 Cu-Ce-MCM-41 对水泥窑烟气中 NO 和 VOCs 的吸附行为。研究表明，Cu-Ce-MCM-41 介孔材料在较低温度对 NO 和 VOCs 的去除率没有明显变化，在较高温度，由于高温会破坏 Cu 与 Ce 之间形成的稳定固溶体结构，不利于 NO 的分解以及 VOCs 的催化氧化，该介孔材料的最佳作用温度为 400-800°C，为 Cu-Ce-MCM-41 催化剂用于脱除气体污染物提供理论依据。

## B02-25

### 自支撑固态胺超细吸附纤维的制备及其二氧化碳吸附行为的研究

陈世逊，张津瑞，陈水挟\*  
中山大学化学学院

近年来，随着工业化增长及化石燃料的持续燃烧，以  $\text{CO}_2$  为代表的温室气体排放量逐年上升。因此，为解决温室效应这一全球性环境问题，必须开发可持续和环保的手段来最大限度减少  $\text{CO}_2$  的排放。目前，二氧化碳的捕集、利用和封存 (CCUS) 技术被公认为减少  $\text{CO}_2$  排放的有效方法。其中，具有优异性能的吸附材料是  $\text{CO}_2$  捕获和富集技术的核心。固态胺吸附材料因具有制备简单、吸附容量高、再生能耗低等优势而成为了研究的热点。其中，将有机胺通过浸渍或接枝的方式负载到多孔基体的表面或孔道得到的吸附材料称为胺负载型固态胺吸附材料，也是最早被报道且目前应用最广的吸附材料。但由于其不参与直接吸附的基体所占质量比过大，因而限制了其单位质量吸附剂的有效胺基密度以及吸附量，且基体孔道在高胺负载量下容易发生堵塞而影响传质过程。因此，舍弃基体的自支撑固态胺材料应运而生。此外，相比于颗粒材料，纤维具有外表面积大、传质距离短、压降低、易于后续加工等优点。而超细纤维在柔韧性、比表面积和亲水/油性等方面的显著优势使其可广泛应用于分离领域。

本文以聚乙烯亚胺 (PEI) 溶液和少量聚乙烯醇 (PVA) 溶液的物理共混液作为纺丝液, 将戊二醛 (GA) 溶液和 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 混合液作为凝固液, 通过湿法静电纺丝得到了一种自支撑的固态胺超细吸附纤维。该材料在 25 °C, 1 bar 时对 CO<sub>2</sub> 的吸附容量可达 4.70 mmol/g, 且能快速达到吸附平衡, 同时在 90 °C 下进行 10 次再生循环后其 CO<sub>2</sub> 吸附行为并未发生明显变化。后续在使用硼氢化钠 (NaBH<sub>4</sub>) 将纤维中的亚胺还原为烷基胺后, 其 CO<sub>2</sub> 吸附容量有所提升 (>1 mmol/g), 最大吸附容量可达 5.78 mmol/g, 且可保持还原前的再生稳定性, 10 次吸附-脱附循环后其 CO<sub>2</sub> 吸附行为并未发生明显改变。本文为兼具纤维结构优势和高 CO<sub>2</sub> 吸附容量的新型固态胺吸附纤维的设计和制备提供了新思路。

## B02-26

### CuO<sub>x</sub> 催化剂中 Cu<sup>+</sup>/Cu<sup>2+</sup> 比例对其 CO 催化氧化性能的影响

朱佳清、杨剑\*、方育杰

重庆大学

机动车尾气中一氧化碳 (CO) 的排放会对环境和人体健康造成严重影响。催化氧化法是目前消除 CO 污染的有效方法, 通过对该过程催化剂的设计和开发可实现不同场景下 CO 的有效脱除。本文以铜基催化剂为研究对象, 研究了 Cu<sup>+</sup>/Cu<sup>2+</sup> 比例对 CuO<sub>x</sub> 催化剂催化性能的影响, 结果表明, 改变沉淀剂浓度和煅烧温度可实现对催化剂结构和 Cu<sup>2+</sup>/Cu<sup>+</sup> 比例的有效调控, 其中, 当沉淀剂浓度为 0.3 mol/L、煅烧温度为 280 °C 时, CuO<sub>x</sub> 催化剂中 Cu<sup>2+</sup>/Cu<sup>+</sup> 比例为 1.44, 具有最高的晶格氧浓度和氧化还原性, 表现出最好的催化性能。CO 在 CuO<sub>x</sub> 催化剂表面的氧化主要遵循 MvK 机理, CuO 提供晶格氧与 CO 反应, Cu<sub>2</sub>O 吸附氧气补充晶格氧, 实现此过程中氧的高效循环, 合适的 Cu<sup>+</sup>/Cu<sup>2+</sup> 比例可保障此循环反应快速持续进行。

## B02-27

### 超疏水二氧化硅气凝胶的快速合成及其复合涂层的一步法制备研究

黄卓彦、冯庆革\*

广西大学

研究表明, 超疏水二氧化硅气凝胶制备工艺仍较为复杂、制备周期长、成本高, 制约了其大规模应用。本研究以四乙氧基硅烷 (TEOS) 为硅源, 简便、快速合成超疏水二氧化硅气凝胶粉体, 采用复合环氧树脂粘合剂, 通过简单的一步喷涂法, 制备出具有良好耐磨性、化学稳定性及自清洁等性能的超疏水涂层。主要结论如下: (1) 无需低表面张力溶剂, 仅添加少量烷基疏水改性剂, 在 5h 内完成超疏水二氧化硅气凝胶粉体的制备。XRD、FTIR、BET、SEM 表征分析和接触角、导热系数测试表明, 本方法成功合成了烷基改性的超疏水二氧化硅气凝胶, 具有典型的 IV 型吸附等温线和粗糙的纳米形貌结构, 比表面积为 421.92 m<sup>2</sup>/g, 接触角高达 163°, 滑动角小于 2°, 导热系数为 0.05w/(k·m)。 (2) 以环氧树脂为粘合剂, 优化不同因素对复合二氧化硅气凝胶超疏水涂层的影响, 在最优条件下制备的涂层保持了良好的粗糙表面, 水接触角达到 157.7°, 滚动角小于 5°。 (3) 制备出的超疏水涂层可承受 200g 负载 4.5m 600 目的砂纸磨损, 显示出优异的机械性能; 在不同 pH 的酸碱溶液中表现出良好的化学稳定性。

本研究仅以少量乙醇和水, 代替传统工艺中使用的大量昂贵甚至有毒的有机溶剂和表面活性剂, 简单快速地制备出二氧化硅气凝胶粉体, 并为超疏水二氧化硅气凝胶复合涂层的一步法制备及其实际应用提供了新的研究思路。

## B02-28

### 比色/下转换荧光双信号识别铜离子探针的构建及其在环境水中的应用

邵红\*、李吉、王琳、董相廷

长春理工大学

富含铜离子的污水的排放会对土壤生态系统和人类造成危害, 铜离子等重金属造成的污染仍然是一个

紧迫的问题。基于金属-配体电荷转移跃迁诱发的颜色变化以及内滤效应导致的下转换发光猝灭，创建了支链化聚乙烯亚胺修饰的下转换纳米粒子比色-荧光双信号铜离子检测探针即 PEI@NaYF<sub>4</sub>: Eu<sup>3+</sup>NPs。通过对下转换纳米粒子的浓度和体系 pH 值的调节，得到了探针最显著的性能变化。下转换纳米材料的引入，不仅降低了背景光干扰，提高了检测灵敏度（比色和荧光检测限分别降至 100 nM 和 41.54 nM, 46.83 nM），拓宽了检测范围（50 nM-1 mM），降低了成本，而且其下转换发光信号与紫外-可见吸收信号之间能够相互验证，增强了检测的准确性。不同位置的真实环境水样中的回收率为 96-105%，证明了该探针体系可靠性和实用性。这种双读出信号相互验证的准确、高灵敏铜离子探针可进一步应用于环境监测和食品安全等领域。

## B02-29

### 滑动环拓扑网络结构改性透明竹材在建筑材料的应用

张喆、苏嘉慧\*

中南林业科技大学

硅基玻璃是最常用的透明建材，但其存在质量重、易碎、难降解、制造能耗高等问题。近年来，具有高透光率的透明木材的创制为取代硅基玻璃提供了新的选择。然而，我国木材资源短缺、对外依存度高，且透明木材存在抗划痕性差的缺陷，这些问题限制了透明木材的发展。为此，开发具有阻燃疏水性能和抗划痕性能的功能化透明竹材具有重要意义。通过链状 PEG-BA 和环状  $\alpha$ -CD 大分子交联和封端反应能够成功制备聚轮烷滑动环大分子。将其与环氧树脂混合改性浸渍脱木素竹材，得到了具有 78.2% 透过率和 83.5% 雾度的功能化透明材。在制备过程中，聚轮烷改性环氧树脂 (PR@EP) 的浸渍在透明竹材内部形成了滑动环拓扑三维交联网络，化学结合位点增多，同时 EP 也可作为滑动环拓扑网络新的“结壳物质”，为透明竹材提供硬度和强度支撑，增加了 PR@EP-TB 的内部结合强度和稳定性以及抗划痕性能，其划痕摩擦系数为 0.387，划痕深度为 37.2  $\mu$ m，相对于环氧树脂透明竹材 (EP-TB) 减少了约 17.1%。由于滑动环拓扑网络结构的存在，当 PR@EP-TB 在受到外力时，可以将力均匀分布到整个拓扑网络上，总体上确保了功能化透明竹材的力学性能和抗划痕性能。

## B02-30

### 节能窗用近红外屏蔽材料的光学调控研究

黄婧怡、塔娜、潮洛蒙\*

内蒙古科技大学

由制冷和供暖引起的建筑能耗已经占到社会总能耗的超过三分之一，成为人们越来越关注的重点。作为室内外能量交换的主要通道，窗户在提供自然照明的同时，也是能耗的薄弱环节。与此同时，相较于传统的低辐射 (Low-E) 玻璃，新型的涂层玻璃技术凭借先进的光学功能材料调节入射阳光，有效节约制冷和供暖能耗。特别是纳米铯钨青铜 (Cs<sub>0.33</sub>WO<sub>3</sub>)，因其局域表面等离子体共振 (LSPR) 效应在吸收近红外光方面表现出色，从而有效控制太阳热辐射。然而，其在近红外区低波长的屏蔽性能仍有改进空间。本工作中我们制备出 Cs<sub>0.33</sub>WO<sub>3</sub>-LaB<sub>6</sub> 复合涂层，利用纳米六硼化镧 (LaB<sub>6</sub>) 的 EELS 特性，成功调控了 Cs<sub>0.33</sub>WO<sub>3</sub> 的近红外光学特性，提升了涂层的近红外屏蔽效率。在模型房的控温测试中，Cs<sub>0.33</sub>WO<sub>3</sub>-LaB<sub>6</sub> 复合涂层表现出了更加优异的降温效果。实验结果表明，Cs<sub>0.33</sub>WO<sub>3</sub>-LaB<sub>6</sub> 复合涂层在节能建筑领域具有广泛的应用前景。

## B02-31

### 典型金属材料生命周期资源效率研究

张端\*、孙博学、谷晓楠、崔素萍

北京工业大学

现行金属 LCA 技术体系在表征过程中，多采取对功能单位与基本流异质化建模的技术思路，未能充分从物能综合转化角度表达冶金全过程的资源效率。本研究采用材料生命周期评价资源耗竭焓分析方法，选取代表大宗基础材料的钢铁流程、铝流程为研究对象，通过构建生命周期层面、流程层面多类资源转化效率计算方法，开展不同金属材料生命周期累积资源效率与过程效率表征与优化研究。研究表明：通过改变电力能源结构，钢铁、原铝的生命周期资源效率分别从 27.66%、13.68% 提高到 31.52%、45.70%；通过提升金属循环，钢铁、铝的生命周期资源效率分别从 27.66%、13.68% 提高到 58.89%、65.27%。由此可见，优化能源结构、实现金属循环是提升材料周期资源效率的有效手段和必由之路。

### B02-32

#### Characteristics analysis of gaseous reactive nitrogen emissions of provincial level livestock and poultry breeding systems in China with LCA

Shujie Yu<sup>1</sup>, Wencong Yue<sup>2</sup>, Sumei Li<sup>1</sup>, Sha Chen<sup>\*1</sup>, Hanbing Li<sup>1</sup>, Peize Wu<sup>1</sup>, Xiaotong Li<sup>1</sup>

1. Beijing University of Technology

2. Environmental Monitoring Center, Ecology and Environment Bureau of Haidian District of Beijing Municipality, Beijing 100089, China

The growth of population and changes in dietary structure have led to a continuous increase in demand for livestock and poultry products, resulting in the changes of the reactive nitrogen (Nr) emissions of livestock and poultry breeding systems and posing a threat to the human health and eco-environment. This study conducted a detailed analysis of the production and consumption of livestock and poultry products in China in 2020, and evaluated the gaseous active nitrogen [i.e., GNr, including nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and ammonia-nitrogen oxide (NH<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>)] emissions of six different livestock and poultry breeding systems at the provincial level in China in 2020 with the framework of life cycle analysis. It was found that the GNr emissions from producing 1 ton beef were the highest, approximately 6 times higher than those from producing 1 ton milk. For the production of 1 ton pork, beef, mutton, chicken, egg and milk, the provinces with the highest GNr emissions were Zhejiang, Xizang, Shaanxi, Guangdong, Zhejiang and Guangxi, respectively. The total GNr emissions from different livestock and poultry products was related to their yield. Among them, the total GNr emissions from pork production were highest, reaching 1236.76 kt N, accounted for 30.59% of the national GNr emissions from livestock and poultry breeding. The GNr emissions from mutton production were the lowest, accounted for 15.81% of pork production. Compared with other stages of the livestock and poultry breeding systems, the GNr emissions from manure management and feed production stages accounted for the majority of GNr emissions throughout the entire stage (i.e., 8.67%~77.36% and 22.17%~91.11%, respectively). Additionally, in order to comprehensively explore the emissions of GNr in the livestock and poultry breeding systems, this study assumed that all feed crops required for the production of six livestock and poultry products were produced locally, and found that under this scenario, the GNr emissions during the feed production stages of pork, beef, mutton, chicken, egg, and milk production increased by 6.34, 2.54, 1.33, 5.64, 3.53, and 1.73 times, respectively. Finally, by replacing 50% traditional maize with 50% silage maize, it was found that the GNr emissions from livestock and poultry breeding systems might be reduced by 2.08%-37.36%. This study provided a detailed and spatial overview of the emissions of GNr in different livestock and poultry production in China, which could support reducing GNr emissions in livestock and poultry breeding systems for decision-makers and air pollution control.

### B02-33

#### 天然气锅炉、生物质锅炉和电加热锅炉供能的生命周期对比研究

李嘉耀、孙博学\*

北京工业大学

为了比较燃天然气工业锅炉、燃生物质工业锅炉以及电加热工业锅炉等不同燃料供热的能耗和环境负荷,采用生命周期评价方法对 3 种锅炉从燃料的生产到使用供热的各阶段进行清单分析并研究生命周期各阶段的环境负荷和影响。清单结果表明:当 3 台锅炉产生 1GJ 相同热量时,在生命周期内各种污染物排放中,CO<sub>2</sub> 的排放都是最高的。电加热锅炉的全球变暖潜值(GWP)、酸化潜值(AP)、富营养化潜值(EP)均是最高,其中电力生产阶段对环境影响的贡献占 80%以上,但使用 2030 年的电力数据,每单位电网电力的二氧化碳当量下降 19%;燃生物质锅炉在使用燃烧时会排放大量的颗粒物,光化学烟雾潜值很高,但生物质颗粒原料在种植过程中吸收碳,在减少温室气体排放上起积极作用;天然气锅炉在使用过程的全球变暖潜值最大,但其它环境影响负荷是最小的。

## B02-34

### 金属铈生产制造的生命周期环境影响评价

冉妍\*

北京工业大学

我国是世界上最大的铈生产国和出口国,铈生产作为有色金属产业主要污染来源之一,生产过程中会消耗大量能源,并产生以铈为主的重金属复合污染,在“双碳”背景下对其进行碳减排是必然趋势。本课题对有色金属铈的生产过程生命周期环境影响展开研究。通过生命周期评价的方法,研究铈在开采过程、选矿过程、冶炼过程等生命周期过程的环境负荷特征,通过收集铈生产制造过程的资源能源消耗和环境排放等基础数据,定量计算各阶段的环境负荷,分析铈在其生命周期各阶段对环境影响的贡献和重要程度,辨别主要环境问题,为我国铈的绿色生产提供建议。

## B02-35

### 利用电解锰渣制备预拌混凝土的绿色低碳评价研究

申娜\*

北京工业大学

电解锰渣是金属锰冶炼过程中产生的酸性滤渣,目前我国主要以堆存方式处置,堆存量已突破 1.6 亿吨。因电解锰渣中存在大量易迁移锰离子和氨氮等有害物质,常规堆存处置存在潜在环境风险,且随着堆存量逐年上升,严重制约了电解锰行业发展。近年来,电解锰渣的资源化利用研究受到关注,相对于传统处置方式,其不仅能够消纳大量堆存的电解锰渣,还能创造经济价值同时兼具环境效益。本文针对利用锰渣替代粗骨料制造预拌混凝土产品的绿色低碳潜力开展研究,基于生命周期评价、碳足迹分析、性能-需求矩阵等评估方法,量化评估利用电解锰渣制造预拌混凝土的资源、环境、低碳、性能等维度的特征指标,通过与传统预拌混凝土的对比分析,讨论电解锰渣资源化利用的减污降碳潜力,为电解锰行业的绿色低碳发展提供科学的数据支持和合理化的建议。

## B02-36

### 典型高分子聚合物化学焓计算及其循环利用过程资源耗竭表征

蹇政杰、孙博学、聂祚仁\*

北京工业大学

高分子材料快速发展的同时也带来巨大的环境影响,同时由于高分子材料的自身特性导致其在回收过程中难以像金属、无机非金属材料通过元素含量不同来表征其资源属性(可利用性)。本研究基于高分子材料合成过程,结合有机单体聚合反应历程,提出了典型有机高分子材料化学焓的计算方法。分析了中国典型煤炭企业聚乙烯、聚丙烯煤基生产路线和相关材料回收企业的回收过程,对比计算了原基路线生产的和以“城市矿山”为原料回收再利用生产的塑料产品不同的焓值,结果表明回收利用生产的塑料产品的资源

消耗不到煤基生产的塑料产品的二分之一。在回收利用过程中，电力消耗对资源消耗影响最大。化学焓的计算为高分子材料回收利用过程中科学表征作为原材料的废弃物的资源属性提供了一种方法。

### B02-37

#### 中国钐资源的物质流分析

龙轩、陈文娟\*、孙博学  
北京工业大学

钐作为一种稀土元素，在诸多领域仍发挥着重要作用，然而目前关于其在产业链上的流动情况的研究较少。本文基于物质流分析方法，构建了我国稀土钐的物质流分析核算模型，对 2022 年我国钐资源的流动情况进行了核算。研究表明：(1)2022 年我国从稀土原矿中开采钐资源 2839 吨，其中 1466 吨来源于白云鄂博稀土矿；(2)2022 年我国以矿产品和化合物的形式共进口钐资源 1391 吨，以稀土产品的形式出口钐资源 562 吨；(3) 2022 年我国共消费了 775 吨钐，采选阶段仍有 605 吨钐没被利用。总的来看，我国钐资源仍存在在产业链上游供应过剩，在产业链下游应用不足的问题，这种供需失衡的问题不利于我国稀土行业的可持续发展。

### B02-38

#### 基于废旧铝循环的典型铝加工材料产品的生命周期评价

闫昆、高峰\*  
北京工业大学

铝生产流程长，资源能源消耗量大，污染物减排面临巨大压力。研究废旧铝合金再生循环利用技术及其节能降碳效果评价是我国铝工业构建绿色低碳循环发展模式中的重要措施之一。采用生命周期评价方法，结合消费后废铝循环利用形式，构建再生铝用于典型铝加工材产品制造过程的生命周期分析模型，分析资源能源消耗与碳排放的关联机制，计算编制典型铝加工材的生命周期清单，分析使用再生铝后铝加工材环境负荷的变化。

### B02-39

#### 基于生命周期评价的太阳能在建筑上的应用研究

陕国瑶\*  
北京工业大学

2020 年的建筑运行能耗与碳排放增速明显放缓，全国建筑运行能耗为 10.6 亿 tce，同比增长 3.0%；碳排放 21.62tCO<sub>2</sub>，同比增长 1.5%。本研究从全生命周期的角度，针对太阳能热水系统和光伏发电产品系统，通过原料获取、产品制造、使用等各阶段数据收集，编制相应的生命周期清单，定量分析太阳能热水系统和光伏发电系统全生命周期碳排放，分析比较太阳能集热器与光伏板不同的面积配比设计方案对建筑能耗与碳排放的影响，确定在满足建筑热水负荷时，建筑安装太阳能集热器与光伏板的最佳面积配比，以达到太阳能应用优化的目的，使公共建筑的节能减排最大化，为建筑行业实现绿色低碳减排提供一定的理论参考和数据基础。

### B02-40

#### 民用建筑典型空调的生命周期评价

石宇\*  
北京工业大学

本文将民用建筑中常见的分体式空调、VRV 式空调作为研究对象，按照生命周期评价的方法步骤，将

空调生命周期划分为原材料获取阶段、生产制造阶段、运行阶段、废弃及回收阶段，分别建立生命周期评价模型，编制空调系统全生命周期清单表，进而对清单分析的结果进行环境影响评价及结果解释与分析；最后对两种类型空调单位制冷量下的碳排放进行比较。对比结果显示，空调生命周期环境影响主要集中于使用阶段，占比超过 80%；分体式空调相较于 VRV 式空调具有更优的环境友好特性。

## B02-41

### 烧结钕铁硼磁材生命周期冶金与材料化过程评价研究

王鸿韬、孙博学\*、张端、李嘉耀

北京工业大学

烧结钕铁硼磁材凭借卓越性能，在新能源领域得到广泛应用。然而，现有生命周期分析主要关注上游冶金阶段的环境问题，对决定磁材性能的材料化阶段排放关注较少。本研究以生产 1kg 烧结钕铁硼磁体及储备 1MJ 磁能作为功能单位，采用 Recipe2016 方法，对典型生产工艺进行生命周期清单分析。针对材料化过程中的熔铸、氢碎和涂层环节，进行工艺改进，并对改进前后同一功能单位下的生命周期结果进行对比分析。研究结果显示，以生产 1kg 烧结钕铁硼磁体为功能单位，材料化阶段工艺改进对各类环境影响并无显著降低；而以 1MJ 磁能为功能单位，工艺改进使各类环境影响降低了约 10%。

## B02-42

### 单晶硅光伏电池组件生命周期评价

韩然\*

北京工业大学

随着全球应对气候变化议题的持续深入，构建以可再生能源为主体的新型能源系统已经成为支撑我国“双碳”目标实现的重大需求。太阳能光伏发电因其在发电环节的绿色低碳属性，得到了越来越广泛的应用；但光伏组件在制造环节存在对战略金属矿产资源依赖、部分产业链关键环节高能源/污染严重等问题，需要兼顾考虑制造与发电等全生命周期，对其造成的资源、环境影响进行综合量化。本研究基于生命周期评价方法，选取典型单晶硅电池组件为研究对象，收集从原料获取、运输、制造等生命周期过程的资源/能源消耗、污染物排放清单，采用 ReCiPe2016 方法体系量化单晶硅电池的潜在资源环境影响，进一步讨论在不同电网结构下制造单晶硅电池环境影响的差异性，为我国光伏行业的技术研发与产品遴选提供建议与支持。

## B02-43

### 时滞性减排问题与道路时滞性评估

杨兆宁\*

北京工业大学

时滞性减排问题指的是有些产品在全生命周期过程中存在“先排放、后减排”的特点，而由于以 CO<sub>2</sub> 为首的温室气体排放到大气后会长期对气候变化产生影响，所以对于排放后的减排，其效果在时间上具有滞后性。由于现有生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 体系中缺乏对时间尺度的考量，在时滞性减排问题开展有关全球变暖的环境影响评估的过程中，对于减排效果的评估可能并不准确。本文主要对生命周期评价中时间尺度进行探讨，并利用水泥全生命过程中生产阶段高排放，应用过程碳化固碳这一特点，分析了以水泥稳和料为主铺设的道路在其生命周期中存在的时滞性问题。本文通过动态特征因子法计算了所选水泥基道路的全球变暖影响值 (Global Warming Impact, GWI)，并与绝对全球变暖潜力值 (Absolute Global Warming Potential, AGWP) 进行对比。计算结果显示，在道路投入使用之后的 20、30、50、70 年间，GWI 分别比 AGWP 高出 6.34%、5.44%、4.90%、5.08%。为方便行业计算，根据计算结果我们将道路时滞性减排修正因子设定为 1.05。该修正因子可用于 AGWP 向 GWI 的转化，对于道路的时滞性减排问题更为精确的分析具有一定的指导意义。

**B02-44****稀土磁性材料行业节能减污降碳协同路径研究**

张哲华、高峰\*

北京工业大学工业大数据应用技术国家工程实验室

稀土磁性材料在风力发电、电动汽车和工业自动化等清洁生产技术领域的应用较为广泛，但在稀土磁性材料的生产制造过程中往往伴随着大量污染物的产生，因此需要对该行业的节能减污降碳协同路径进行规划。本文首先基于生命周期评价（LCA）构建了我国稀土磁性材料行业的多目标优化模型，然后采用 NSGA-III 算法对多目标优化模型进行求解，并使用 TOPSIS 算法搜索帕累托前沿结果，从而实现系统最优环境性能。结果表明，多目标优化的效率更高，可以实现不同环境影响指标的整体改善，即优化后的稀土磁性行业整体环境性能最优；通过对比不同阶段的环境影响可以发现，稀土氧化物生产阶段造成的环境影响最大，其次是稀土磁性材料生产阶段。研究显示，生命周期评价和多目标优化算法相结合，可以为我国稀土磁性材料行业节能减污降碳的协同路径提供解决方案。

**B02-45****镁冶炼先进技术和典型镁合金产品生命周期评价研究进展**

王建凯、高峰\*

北京工业大学

随着皮江法炼镁工艺的不断改进，中国已经成为世界上最大的原镁及镁合金产品的生产和消费国。但皮江法炼镁工艺的生产周期过长，能耗大，碳排放等污染物较高。在有色金属行业积极推进“双碳”战略目标的背景下，开发新工艺、新技术和新设备，提高炼镁工艺的传热效率，降低能耗，缩短还原周期成为研究的热点方向。本研究基于生命周期评价方法，以先进竖式还原炉技术冶炼金属镁的生产工艺流程为研究对象，在综合分析生产工艺技术与能源及物料消耗的基础上，构建竖罐双蓄热镁冶炼生命周期评价分析模型，研究分析竖罐双蓄热镁冶炼技术相比于传统横罐还原技术在资源、能源消耗、污染物排放等环境影响上的差异，完成镁冶炼先进技术碳减排分析，形成典型镁产品生命周期评价报告，为典型企业制定低碳循环发展路径提供分析方法与量化数据。

**B02-46****锰基材料生命周期评价**

易宸宇、高峰\*

北京工业大学

随着中国黑色金属行业的快速发展，近年来包括电解锰、硫酸锰在内的锰产品产量稳居锰行业高位。而这两种锰产品资源、能源高消耗的特点始终难以解决。鉴于我国资源、环境的现状和国际贸易壁垒的增多，需要合理优化产品的生产工艺，以减少对资源、能源的消耗和污染物的排放，达到产品节能降碳的目的，并降低锰渣等废弃物对生态环境的破坏。

针对当前电解锰、硫酸锰产品生产过程资源能源消耗多、环境排放量大等问题，本课题基于生命周期思想，结合我国当前电解锰、硫酸锰产品的典型生产工艺，对两种产品的原料生产和产品制造过程开展生命周期评价。通过建立生产流程模型，计算和获取物料消耗及排放数据，编制生命周期清单，分析两种产品的环境影响，辨识工艺环境热点，为电解锰、硫酸锰产品和锰行业的绿色低碳发展提供科学分析方法和数据支撑。

**B02-47****利用离子型稀土矿生产单一稀土元素的生命周期评价**

王莹、高峰\*、孙博学、陈文娟

## 北京工业大学

稀土元素在绿色及数字化技术中发挥着关键作用，中国提供了全球 90% 以上的稀土，甚至中重稀土提供占比为 100%，近年来稀土元素需求的持续增加，激发了人们对与其生产相关的环境影响评估的兴趣。在这项研究中，基于湿法冶金系统多输出产品资源能源消耗的分配模型编制了离子型稀土矿生产稀土元素的生命周期清单，并采用 ReCiPe2016 方法计算了 11 种单一稀土元素对环境的影响，并与传统分配模型（质量模型，经济价值模型）的分配结果进行了比较。评估对象是中国南方离子型稀土矿原地浸出生产链，并包括三种主要金属精炼工艺的影响：熔盐电解、钙热还原和镧系热还原。计算结果显示，离子型稀土矿生产 1t 单一稀土元素时环境影响最大的是金属钇，高于其他稀土元素 30% 左右。环境热点主要集中在原位浸矿和精炼阶段，主要是由于在原位浸矿阶段硫酸铵、碳酸氢铵等资源消耗量大且回收率低，使得人体毒性、富营养化和酸化等指标结果较高，而精炼阶段主要是电力消耗所造成的环境影响。研究结果表明要进一步加强离子型稀土矿提取稀土氧化物工艺流程的新兴技术研究，减少采矿过程中的硫酸铵损失，提高内部循环利用率，减少对原生硫酸铵的需求，同时促进废弃物有效处理对该行业的可持续性至关重要。

## B02-48

## 中国光伏组件报废预测分析及回收生命周期评价

王振国\*、高峰、刘宇、孙博学

北京工业大学

晶硅光伏组件目前已达到回收阶段，回收光伏组件对环境的影响很大忧虑。回收光伏组件的生命周期评价正在成为热点。本研究总结了 LCA 的研究框架和常用工具，并描述了光伏电池板结构配置和光伏组件的回收技术路线。基于中国光伏发电应用的实际情况，充分考虑光伏组件初始质量、已有和未来新增装机量等因素，预测了不同情景下的光伏组件报废量。比较了垃圾填埋、化学分离和物理分离三种回收光伏组件路径，对六种影响类别（气候变化、陆地酸化、人类毒性、化石资源稀缺、水富营养化和海洋富营养化的影响）。预测结果表明，到 2040 年中国将累计产生 3000 多万吨报废组件。通过贡献度分析和敏感性分析可以发现，运输过程和电力消耗对环境和资源有显著影响。同时光伏电池板的回收具有明显的环境价值。与化学分离技术相比，物理分离技术产生的潜在环境影响较低，因为化学分离中使用了大量化学品。通过改进分析，电力结构的优化以及回收技术和效率的提高对于回收光伏组件、环境和可持续发展具有重要意义。

## 墙报

## B02-P01

## C2S-C3S2-C2AS 矿物掺合料体系固化锌离子行为

王亚丽\*、李子末

北京工业大学

目前含锌废弃物来源广产量大，利用水泥窑协同处置含锌废弃物时，为考虑产品质量废弃物掺量较小，大量废弃物难以得到及时处置。因此为最大限度利用水泥窑协同处置含锌废弃物，要突破现有硅酸盐水泥熟料矿物体系的限制，制备其他矿物掺合料体系。本文从钙硅铝三元相图出发，选择 C2S-C3S2-C2AS 三元矿物体系作为矿物掺合料体系。此矿物掺合料体系钙硅比为 1.7，硅率为 2.0，铝率为 1.5，以金属氧化物的形式在体系中引入锌离子。利用 ICP、XRD、SEM-BES-EDS、XPS 等测试手段研究此矿物掺合料体系对锌离子的固化行为，结果显示此矿物掺合料体对锌离子固化率可达到 97.41%，且生成了一种新的取代矿物  $\text{Ca}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$ 。利用第一性原理模拟分析锌取代体系中矿物晶体原子的可行性，计算结果表明锌离子更倾向于取代物掺合料体系 C3S2 中 Ca 离子。C2S-C3S2-C2AS 矿物掺合料体系能固化锌离子的同时具有

钙含量低、成本低廉的优点，可以有效利用含锌的危险废弃物，节约资源能源，有利于生态环境的保护，具有可持续发展的重要意义。

## B02-P02

### 氟化比例和杂质元素对氟化石墨的导电性能影响

李丹阳、刘奕男、王杰、李嘉楠、陈莎\*

北京工业大学环境科学与工程学院区域大气复合污染北京市重点实验室北京 100124

锂氟化碳 ( $\text{Li}/\text{CF}_x$ ) 电池在所有一次锂电池中拥有最高的能量密度 ( $2180 \text{ Wh kg}^{-1}$ )。  $\text{CF}_x$  作为正极活性材料，对性能起着决定性作用。  $\text{Li}/\text{CF}_x$  电池的 electrochemical 性能与氟碳 (F/C) 比和碳氟 (C-F) 键的性质相关。控制 C-F 键的类型和 F/C 比对于调节  $\text{Li}/\text{CF}_x$  电池的性能至关重要。本文基于密度泛函理论 (DFT) 第一性原理构建不同氟化比例的氟化石墨结构模型，以及石墨原料中存在杂质 S 元素时氟化所得氟化石墨的结构模型，并对所有模型进行了几何结构优化、态密度分布和能带分布的计算，分析其对导电性能的影响。结果表明，C-F 键的平均长度随着氟化比例的增加而减小，半离子型 C-F 键占比减小，说明氟化石墨中的化学键强烈依赖于氟化程度。低氟化比例的氟化石墨具有较小的能带带隙，电子跃迁更容易发生，表明降低氟化比例可以提高其导电性能。当石墨原料中存在杂质 S 元素时，S 原子周围 C 原子的氟化反应活性显著增强，从而调节其周围的局部 C-F 键类型。S- $\text{CF}_x$  的态密度和能带结构结果表明 S 元素存在时可以提高  $\text{CF}_x$  的导电性，使其具有导体特征。在 S 原子含量较少时导电性变化更明显，表明石墨原料中少量杂质 S 元素的存在有利于提高氟化石墨的导电性能。本文的研究结果可为精确调控氟化石墨材料的性能提供理论指导。

## B02-P03

### Fe 掺杂 $\text{CoMn}_2\text{O}_4$ 催化剂上 $\text{NH}_3$ 选择性催化还原 NO 的 DFT 和实验研究

邓玉龙、谭红琳\*

昆明理工大学

$\text{NH}_3$  选择性催化还原  $\text{NO}_x$  ( $\text{NH}_3\text{-SCR}$ ) 是消除氮氧化物的有效脱硝手段，这也引起人们广泛关注，但其低温活性差，操作窗口窄，在工业领域中受到限制。在本研究中，我们通过密度泛函理论计算和实验相结合的方式，证明了 Fe 掺杂能有效提高  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  的  $\text{NH}_3\text{-SCR}$  催化活性。本征  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  和 Fe 掺杂的  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  催化剂的低折射率 (100) 表面结构以及  $\text{NH}_3$  分子的吸附模型均通过计算确定。通过对  $\text{NH}_3\text{-SCR}$  的深入研究，发现 Fe 的掺杂，能够有效提高  $\text{NH}_3$  吸附在催化剂表面 ( $E_{\text{ads}}=0.83 \text{ eV}$ )，也能够降低  $\text{NH}_3\text{-SCR}$  反应路径的能垒 ( $E_a=0.86 \text{ eV}$ )。采用溶胶凝胶法和浸渍法制备了  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  和 Fe 掺杂的  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  催化剂。通过性能测试，Fe 掺杂的  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  具有更加高效的  $\text{NO}_x$  转化率 (87%)，并且  $\text{N}_2$  的选择性也略有提高 (64%)，与计算结果一致。本研究提出了一种提高  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  尖晶石催化剂的脱硝效率的方法，为  $\text{CoMn}_2\text{O}_4$  催化剂的开发提供新思路。

## B02-P04

### 环境友好型同步增肥除害缓释材料的构建

陈佑慧、卢凌彬\*

海南大学

海藻酸钠因为其良好的生物相容性和降解性被广泛的应用于药物释控领域，水凝胶农药缓释制剂不仅可以缓慢释放出有效成分，还具有减少施用次数，降低对非靶标生物的风险及提高农药持效期等优点。本研究以海藻酸钠为原料，将它降药物分子接枝到海藻酸钠中，利用尿素作为交联剂制备了海藻酸钠-使它降-尿素水凝胶 (SUF)，并通过改变交联剂的含量制备了不同的 SUF。通过傅里叶红外光谱仪、热重分析仪、扫描电子显微镜、药物释放动力学、种植实验和土壤中的降解行为对 SUF 的微观结构、热稳定性、宏

观结构和药物释放机理进行评价。结果表明, SUF 具有良好的热稳定性和除草能力, 同时 SUF 的缓释性能与其土壤降解能力相关, 缓释效果可持续 8 周, 并在降解过程中释放氮磷钾元素增加土壤肥力, 从而促进植物生长。

## B02-P05

### 新型酰脲基荧光探针的合成及其连续识别 $\text{Cu}^{2+}$ 和草甘膦的性能探究

李文泽、朱美庆\*

安徽工程大学

作为常见污染物,  $\text{Cu}^{2+}$  和草甘膦对人类健康和生态系统构成严重威胁。为此, 设计并合成了三种荧光探针: HYBC、DHBC、DDHC 用于顺序识别  $\text{Cu}^{2+}$  和草甘膦。荧光探针 HYBC 能够与  $\text{Cu}^{2+}$  配位发生黄绿色到无色的荧光淬灭变化, 当 HYBC- $\text{Cu}^{2+}$  配合物在有草甘膦的情况下, 由于质子官能团的作用使得草甘膦能够竞争下 HYBC- $\text{Cu}^{2+}$  配合物中的  $\text{Cu}^{2+}$  从而导致荧光恢复, 该过程实现了对  $\text{Cu}^{2+}$  和草甘膦的连续识别。但由于 HYBC 对金属离子识别方面也能够识别  $\text{Co}^{2+}$ , 因此设计出了 DHBC 以完善 HYBC 的特异性和抗干扰能力。为了提高检测的灵敏度, 又以 DHBC 为母体, 合成出了荧光探针 DDHC, 而且, DDHC 因其低细胞毒性和较好的组织穿透能力, 被成功应用于 HeLa 细胞和斑马鱼体内外源性  $\text{Cu}^{2+}$  和草甘膦的可视化分布研究。DDHC 的靶向性和连续识别性能大大提高了其在检测领域的潜在应用价值, 为研究环境中多种污染物的命运提供了重要的理论支持。

## B02-P06

### 通过梯度改性和共热解制备的污泥-竹子生物炭对四环素的吸附: 性能评估与机理研究

陈力嘉、张庆云\*

安徽工程大学

本研究将污泥和竹生物质经过 KOH 梯度改性后进行共热解处理, 制备出污泥基生物炭, 并用于吸附盐酸四环素 (TCH)。优化制备的 K-HBBC 具有良好的耐环境暴露性, 不受 pH 值和共存离子的影响, 对 TCH 具有出色的持续吸附能力。与单独热解的 BC ( $53.75 \text{ m}^2/\text{g}$ ) 相比, K-HBBC 的比表面积显著增加 ( $S_{\text{BET}}=179.59 \text{ m}^2/\text{g}$ )。K-HBBC 的特征证实了石墨化结构程度的提高、有效的孔径分布和丰富的表面官能团。Elovich 动力学模型和 Freundlich 等温线模型与 K-HBBC 的 TCH 吸附过程有较好的相关性。此外, K-HBBC 对 TCH 的吸附受颗粒内扩散和液膜扩散的速率限制, 吸附过程是自发的、吸热的。结合量子化学计算, 可以合理推断孔隙填充、静电相互作用、 $\pi$ - $\pi$  相互作用、氢键和疏水相互作用是 K-HBBC 吸附 TCH 的主要机制。总之, 利用污水污泥和农业废弃物资源化制备的 K-HBBC 是一种前景广泛的吸附剂, 在含抗生素废水的修复方面具有巨大的潜在应用前景。

## B02-P07

### 单/双金属催化电极改性及其强化 CW-MFC 处理重金属废水的性能

左锐、张庆云\*

安徽工程大学

本实验合成了一种名为 Cu-CA 催化剂, 并利用泡沫镍作为催化剂载体, 应用到 CW-MFC 系统中对系统的阴极进行改性, 并在此基础上进行对重金属废水的处理。经过对实验中的 pH, 电压, 极化曲线以及每个批次的重金属浓度的测量, 可以得出 CW-MFC-Cu@NF 不论是从产电能力还是对重金属的去除的效果上来看, 均高于其他三个体系, 其中在不同的负荷下, 对 Cu 的去除高达 99.9%, 对 Zn 的去除高达 99%, 最大输出电压可到达 505.12 mV, 最大功率密度可达到 148.23 mW/m<sup>2</sup>。为 CW-MFC 的电极改性提供了思路, 从而可以作为 CW-MFC 体系处理重金属废水的一种新方法。在 200 mg/L 铜锌进水的的情况下, 铜和锌的出水浓度分别达到了  $0.0015 \pm 0.0002 \text{ mg/L}$ ,  $0.7 \pm 0.2 \text{ mg/L}$ , 满足《电镀污染物排放标准》(GB 21900-2008)。

**B02-P08****二茂铁的水相分散机理及其催化降解亚甲基蓝的研究**

李凯鑫、洪冉\*

安徽工程大学

二茂铁作为一种芬顿反应催化剂,具有良好的氧化还原循环能力,但在使用的过程中二茂铁水溶性极差,易发生团聚的缺点使其催化能力难以发挥。表面活性剂在水溶液中的胶束体系具有良好的分散支持特性,可以通过浓度和溶液环境进行调控,用其对二茂铁进行分散一方面可以提高二茂铁的分散性、增加反应面积、提高接触概率,一方面可以加速芬顿反应中“三价还原到二价”的过程。本研究利用表面活性剂的该种特性用不同的表面活性剂对二茂铁进行改性,筛选出了最优的表面活性剂聚丙烯酰胺 10 对二茂铁改性,然后通过其对亚甲基蓝(MB)在光催化和不加光催化两种条件下的催化降解效果进行不同的但因素影响评价实验,发现经改性后的分散型二茂铁基催化剂加入后降解 MB 的类芬顿反应的最适 pH 范围有了提升,且在亚甲基蓝浓度为 31.25  $\mu\text{M}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度为 25.00 mM、温度为 30 $^\circ\text{C}$ 、催化剂添加量为 0.25 g/L、pH=5.00,未加光催化条件下 15 min 后 MB 的降解效率达到了 96.37%、加光催化的条件下 15 min 后 MB 的降解效率在 99.40%。

仅发表论文

**B02-PO01****生命周期可持续评价方法研究及在材料领域的应用**

刘宇\*、晁思聪

北京工业大学

制造业是我国社会发展与经济建设的重要支柱,随着可持续发展战略的不断深入,传统制造业面临绿色低碳转型的重大挑战。生命周期可持续评价(Life cycle sustainability analysis, LCSA)是评估产品/服务可持续表现的国际主流方法,其涵盖对产品对环境、经济、社会等重大问题维度上表现的定量与半定量评价,集成生命周期评价、生命周期成本分析、社会生命周期评价等多维度评估方法,经过多指标评估结果的集成算法实现对多维度评价结果的综合决策。面向我国“双碳”目标对制造业绿色低碳转型的重大需求,基于定量化、多维度、全生命周期视角的生命周期可持续评估方法具有广泛应用前景。本研究综述生命周期可持续发展评估方法的研究现状,介绍方法学基本框架与理论构成,总结将该方法在应用于材料研发与遴选方面需关注的研究热点与改进方向,并针对研究热点分析已有相关研究,并提出未来发展的主要趋势。