

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

B02-生态环境材料
B02-Eco-materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



B02. 生态环境材料

分会主席：聂祚仁、崔素萍、于岩、陈美祝

B02-01

固废材料在沥青路面工程领域的高质量利用

吴少鹏*

武汉理工大学

钢渣和沥青路面回收料(RAP)分别是钢铁行业和交通基础设施领域的典型固体废弃物，面临着堆存量、处置难、附加值低、利用效果差的难题。本研究提出了钢渣资源化利用关键方法，及其与 RAP 在高等级沥青路面中的高质化利用思路，实现沥青路面的高性能和天然集料零消耗。研究为可持续路面工程建立了一个新的范例，为促进钢铁行业和交通基础设施领域的资源循环利用提供了可行见解。

B02-02

二维/三维载体复合铁基芬顿催化剂的结构调控及其降解污染物的研究

冯庆革*、李想

广西大学

水污染的治理和防控对于满足人民日益增长的对美好生活的需要以及环境保护方面，依然是要长期坚持的重任并具有重要的意义。传统的典型铁基催化剂常用在芬顿反应中处理市政污水，然而金属基催化剂通常面临活性位点易团聚和小尺寸颗粒中金属浸出加剧这两方面的共性矛盾。通过金属基催化剂的结构调控进行矛盾问题的权衡是实现高效稳定处理处置市政污染、甚至避免金属污泥产生的研究关键。本研究通过引入不同维度载体（二维 g-C₃N₄、三维非晶界面 SiO₂_gel）研究对 Fe₃O₄ 团聚体分散性和载体界面的调控。研究结论有：（1）引入二维载体 g-C₃N₄ 产生的空间位阻效应能提升团聚体分散性，有利于提高降解污染物的催化活性；DFT 研究发现了二维载体对 Fe(III)的捕获吸附行为从而对小尺寸 Fe₃O₄ 上 Fe 的浸出产生抑制作用，但也会导致 Fe 的重新沉积使得团聚出现、分散性变差。（2）在一步相转移辅助策略下于 Fe₃O₄ 表面构建可调控的三维非晶界面 SiO₂_gel，并实现了通过分散性协同重构的思路进行 Fe₃O₄ 团聚体分散性的提升；通过非晶界面建模，提出并证实了非晶界面效应能令铁基芬顿催化剂在降解污染物过程中很好地权衡催化活性与过程稳定性。研究结果为高效稳定的芬顿降解污染物提供了理论支撑并推动其实际应用。

B02-03

二氧化碳（CO₂）催化加氢制甲醇用铟基催化剂构建

郭利民*

华中科技大学

国际社会广泛关注 CO₂ 减排。利用 CO₂ 转化为甲醇等化工品，既可实现 CO₂ 资源化，又可减排 CO₂，具有重要战略意义。二氧化碳（CO₂）催化加氢制备化工产品是实现 CO₂ 有效减排的途径之一。但是，CO₂ 催化加氢催化机制复杂，平行反应较多，导致催化反应产物众多。通过催化剂设计和结构调控，可实现 CO₂ 催化加氢的产物调控，提高目标产物选择性，本报告将阐述我们小组关于氧化钴表面引入氧化铟成功实现 CO₂ 催化加氢产物从甲烷向甲醇的转变。

首先，In_xCo_{1-x}O_y 催化剂在还原气氛下发生表面重构生成核壳结构，极大地提高了 CO₂ 和含碳物种的吸附能力。这种特殊的核壳结构有利于反应中间产物甲氧基加氢生成甲醇，而不是过度加氢生成甲烷；

此外，构建并发现了 Co₃InCo_{0.75}-In₂O₃ 界面这一新的 CO₂ 加氢制甲醇活性位点。研究表明，Co₃InCo_{0.75} 和 In₂O₃ 的界面导致了电子相互作用并增强了催化剂对 CO₂ 和 CO 的吸附能力，使其表现出优异的催化

CO₂ 加氢制甲醇性能。

最后，简单介绍下我们团队基于 CoIn 合金及 CoIn 碳化物催化剂界面构建及其性能和机理最新进展。

B02-04

二维异质结功能膜的构筑及其在战略同位素分离中的应用研究

李湛*

兰州大学

聚焦国家重大需求，创新提出基于二维分形非线性膜的分离新方法。融合多学科策略，构筑全新结构与功能的二维异质结膜材料，推动膜分离技术在战略同位素分离提纯领域的发展。设计二维分形非线性异质结膜，首次实现常温下氢同位素水分子高效分离，为核废水处理与核能开发提供关键技术支持。提出电磁分离与二维非线性路径增长协同策略，突破锂同位素分离瓶颈，实现锂-6 高效提取。构建高精度离子识别仿生膜，实现稀土、铀、锂等战略资源精准分离，为资源高效利用开辟新路径。

B02-05

中间层聚酰胺纳滤膜的界面相互作用调控和性能研究

陈飞飞*、朱艳、于岩

福州大学

聚酰胺薄层复合膜在海水淡化和污染物截留等领域应用广泛。调控聚酰胺界面聚合过程中的单体扩散、进而解决渗透率/选择性 trade-off 关键问题，是该领域的研究热点。在基底和聚酰胺活性层之间构建中间层，是优化胺单体在表面吸附和分布、控制其扩散的有效方案。区别于已有的聚合物、MOF、碳材料、MXene 等中间层，本团队近期提出使用低维矿物调控水相胺单体扩散的研究思路，使用二维硅酸钙纳米片作为中间层，利用其与哌嗪之间形成的氢键、静电、配位键等多重界面相互作用，显著降低哌嗪的扩散速率，最终构筑亲水、疏松、超薄的聚酰胺活性层，在分离水体有机污染物时，该中间层聚酰胺纳滤膜的截留率保持不变，水渗透率提高 2.2 倍。

B02-06

生物质/废塑料类碳点的绿色合成与荧光性能研究进展

周新星*、宋科琴

山西大学

碳点（Carbon dots, CDs）展现出卓越的光致发光性能，被认为是极具潜力的零维碳纳米材料。利用生物质和废塑料等可再生资源制备碳点，因其成本效益和环境友好特性而受到广泛关注。本文系统综述了以生物质或废塑料为原料的 CDs 的绿色合成方法及其荧光性能，主要包括生物质/废塑料类碳点的制备技术、生物质/废塑料类碳点的绿色合成策略、生物质/废塑料类碳点的荧光特性及发光机制，并探讨了生物质/废塑料类碳点所面临的挑战和未来的发展前景。

B02-07

基于液态金属掺杂 MXene 的多功能抗电磁干扰复合膜的制备与应用研究

齐伟*、何玉琦

华中科技大学

随着信息技术的快速发展，新一代集成电子器件呈现轻量化、功能集中、多场景应用等特点，带来的电磁干扰与污染问题日益严重。二维过渡金属氮碳化物（MXene）因其超高导电性、柔韧性和丰富的表面基团在电磁屏蔽领域受到了广泛关注。然而，MXene 在电磁屏蔽领域的应用仍面临着轻量化，热管理，机

械性能等多方面的挑战。针对以上科学问题，本论文通过液态金属掺杂 MXene 与结构调控，得到了两种基于 MXene 的高性能电磁屏蔽复合膜。首先，合成了核壳结构的 MXene@Ga 复合物，并与纤维素纳米纤维被用于制备多功能电磁屏蔽复合膜。该复合膜显示出良好的机械性能，拉伸强度为 36.12 MPa，导热率高达 $9.11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。该复合膜对 X 波段的最大绝对屏蔽效能 (SSE/t) 为 $6444.1 \text{ dB} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ，且兼具优异的电热转化性能和光热效应，因而具有热管理应用的潜力；其次，基于上述研究，利用常温液态的 GaIn 金属和结构优化进一步提高了复合膜的电磁屏蔽和导热性能，其对 X 波段的最大 SSE/t 值达到 $7718.91 \text{ dB} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。而且，该复合膜展示出优秀的热致形变性能，说明其具有动态温度调节应用的潜力。

B02-08

双金属催化材料设计及其电化学 CO₂ 还原性能探究

钟升红*

福州大学

利用可再生能源驱动电催化二氧化碳还原 (CO₂RR)，生产高附加值化学品，是促进碳循环、实现碳中和目标的有效技术途径之一。该技术的核心挑战在于高效催化剂的开发。双金属催化剂通过整合两种金属组分间的协同效应（如掺杂效应、应变效应等），可有效降低关键反应步骤的能垒，从而提升反应活性和催化稳定性。本报告聚焦于双金属催化剂的设计与优化，通过精确调控金属组分比例、界面结构及电子协同作用，旨在显著提升其 CO₂RR 催化性能，包括反应活性和目标产物选择性。

B02-09

基于生物材料的放射性药物研究

田龙龙

兰州大学稀有同位素前沿科学中心/核科学与技术学院

放射性药物是指利用放射性核素进行疾病的诊断和治疗的药物，放射性药物产业已成为国家重点支持的战略性新兴产业。围绕放射性药物领域面临的医用放射性核素缺乏、放射性药物治疗抵抗和放射性核素脱靶防护等问题，基于基因工程技术改造的细菌制备分离材料，选择性地提取医用放射性核素，为制备放射性药物提供原料；基于人工合成的生物材料和基因工程技术改造的天然来源生物材料研发了放射性治疗药物，并通过激活抗肿瘤免疫反应克服肿瘤治疗抵抗；基于辐射自发光生物材料和基因工程技术改造天然肠道益生菌，实现了放射性核素脱靶监测和安全防护，为我国自主可控的核医学发展提供了基础。

B02-10

基于酒糟催化剂的高粱秸秆水解研究：资源化利用与绿色化学的应用

陶雪*

茅台学院

随着全球能源资源紧张和环境污染问题的日益加剧，寻找绿色、可持续的能源与材料解决方案成为当今社会亟待解决的挑战。生物质能作为重要的可再生能源之一，因其环保性和可持续性，逐渐受到越来越多的关注。高粱秸秆作为农业废弃物，含有丰富的纤维素，具有巨大的生物质能源潜力。然而，纤维素水解过程通常需要高效催化剂来提高水解效率。传统的催化剂不仅分离回收困难，而且可能带来额外的环境污染和经济负担。因此，开发绿色、高效、可回收的催化剂对于纤维素水解具有重要意义。

本研究以酒糟为原料，采用碳化磺化与磁性修饰工艺制备了酒糟基固体酸催化剂，并将其应用于高粱秸秆的水解过程。酒糟是白酒生产中产生的固体废弃物，其年产量巨大，且低廉的成本使其成为理想的催化剂前驱体。通过同步碳化磺化，酒糟基固体酸催化剂具有较高的酸量和良好的催化活性。为进一步提高催化性能，本研究还采用了磁性修饰，成功制备了磁性酒糟基固体酸催化剂 (Fe₃O₄@SiO₂ 负载型)。该催化剂不仅展示了优异的催化性能，还具备磁学分离特性，有效解决了传统固体酸催化剂回收困难的问题。

实验结果：1) 酒糟基固体酸催化剂性能。在 150 °C、3 h 水解条件下，酒糟基固体酸催化剂的还原糖产率为 263.80 mg/g，较无催化剂的水解条件提升了 178.6%。该催化剂的酸量为 0.87 mmol/g，具有较高的催化活性，酸性基团为水解反应提供了丰富的质子位点；2) 磁性催化剂的效果。Fe₃O₄ 负载样品的产率为 209.54 mg/g，而 Fe₃O₄@SiO₂ 负载催化剂的产率提升至 241.99 mg/g，表明 SiO₂ 包覆有效增强了催化剂的性能，吸附-催化协同效应显著提高了水解效率。SiO₂ 的包覆不仅保护了 Fe₃O₄ 核心，还提升了酸量至 0.11 mmol/g，增强了催化效果；3) 温度实验。在 150 °C 的高温条件下，水解产率较常温条件提高了 32.6%。此温度条件显著促进了多糖链的解离，提升了水解效率。该实验表明，温度的提高对催化水解过程起到了关键作用，进一步提高了催化剂的效能；4) 磁性回收特性。由于磁性催化剂的特殊性质，在反应后可以通过外加磁场回收催化剂，解决了传统固体酸催化剂回收困难的问题，为催化剂的再利用提供了可行方案。

本研究不仅为酒糟资源化利用提供了新思路，也为秸秆水解过程中的催化剂选择和设计提供了参考。此外，磁性固体酸催化剂的回收特性使其在工业应用中具有广阔的前景，有助于推动绿色化学和可持续发展目标的实现。

B02-11

生物炭-纳米零价铁复合材料的制备及其对六价铬和三氯乙烯的同步去除研究

郑天文¹、吴乃瑾¹、侯代兵²、孙仲平¹、智丽琴¹、罗会龙^{*1}、李培中¹、魏文侠¹

1. 北京市科学技术研究院资源环境研究所

2. 北京化工大学化学工程学院

六价铬[Cr(VI)]是生态环境系统中毒性最强的重金属之一。在对我国污染场地修复案例的研究中发现，Cr(VI)污染场地往往伴随着卤代烃（HOCs）污染，以氯代烃（CAHs）为主，尤其是在电镀行业遗留场地中。然而，针对 Cr(VI)和 HOCs 复合污染土壤同步修复研究鲜有报道。因此，本研究选用稻草和稻壳为原料，采用“一步碳还原”法制备了生物炭-纳米零价铁复合材料，分别为铁基稻草生物炭（RSB-nZVI）和铁基稻壳生物炭（RHB-nZVI）。借助 SEM-EDS、TEM、XPS 等多种微观手段，详细分析了 RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 的结构特征与微观差异；采用序批式实验，系统研究了 RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 对水溶液中 Cr(VI)和 TCE 的吸附效果与机制；同时，从南方某场地采集 Cr(VI)和 TCE 复合污染土壤，结合土壤养护试验，开展了 RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 对 Cr(VI)和 TCE 复合污染土壤为期 100 天的修复实验。研究结果表明，“一步碳还原”法制备铁基生物炭（RSB-nZVI 和 RHB-nZVI）是一种以介孔为主的分级多孔结构材料，其表面负载的铁基以 FeS 和 Fe⁰ 为主。RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 对 Cr(VI)的去除率分别为 43.47%和 25.07%，对 TCE 的去除率分别为 99.90%和 99.73%；RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 对 Cr(VI)和 TCE 的吸附动力学均符合伪二级模型，以化学吸附为主；Sips 等温吸附模型拟合表明 RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 对 Cr(VI)的吸附不仅仅是单分子层吸附，还有吸附分子之间的相互作用。土壤养护 100 天后，RSB-nZVI 和 RHB-nZVI 对土壤 TCE 的去除率达到 54.88%和 62.69%；土壤有效态 Cr(VI)分别降低了 38.62%和 11.83%，土壤弱酸提取态 Cr、可还原态 Cr 和可氧化态 Cr 均有不同程度降低，而残渣态 Cr 含量升高，这表明两种铁基生物炭材料的施加，促进了土壤 Cr 从易于迁移的形态向稳定的形态转化，起到了钝化 Cr 的作用。研究结果有望为铁基生物炭复合材料同步去除污染场地中 Cr(VI)和 TCE 的实际应用提供理论依据。

B02-12

ABT 降解技术，塑料生物降解的创新解决方案

燕洪*

山东卓科新材料科技有限公司

目前全球每年生产超过 4 亿吨塑料，产生约 3.53 亿吨废塑料，约 2.68 亿吨塑料被弃置，全球塑料回收率只有 9%左右，塑料污染问题已经成为全球与气候变化同等重要的环境问题，对塑料实现生物降解得到越来越多科研人员的关注，塑料的生物降解技术成为防治塑料污染的重要路径之一。

通过 17 年持续不断对厌氧微生物对塑料的生物降解研究，发现厌氧微生物对传统塑料（PE、PP、PET、

PVC、EPS、PA 等)具有显著降解效果,ABT 降解技术(厌氧生物降解技术)应运而生,也填补了国内在这一技术领域的空白,在世界范围内亦处于领先水平。

ABT 降解技术通过将复合厌氧生物降解配方植入到传统塑料(PE、PP、PET、PVC、EPS、PA 等)颗粒或制品中,废弃的塑料(制品)进入垃圾填埋场、土壤等厌氧降解环境后,经过厌氧菌群的定殖、解聚、同化、矿化后,完全厌氧生物降解为甲烷、二氧化碳、微量矿化无机盐等,最快可以实现 180 天内完全生物降解。

随着对 ABT 降解技术的不断研发与升级,未来有望实现将传统塑料生物降解为工业原料,实现塑料资源的循环利用,为传统塑料行业的绿色升级提供新的中国解决方案。

B02-13

沥青自愈合技术在福建公路工程的应用研究

万沛*

福建省交通科研院有限公司

福建省地处高温多雨区域,裂缝、坑槽等沥青路面病害频发。感应加热自愈合技术是指在沥青混合料中加入钢纤维,利用感应电流产热促使微裂缝愈合,已应用于福清市镜洋镇路面改造。胶囊自愈合技术是通过在沥青混合料中掺入含再生剂的微胶囊,路面开裂时释放再生剂恢复沥青性能并封闭裂缝,已应用于福州市永泰县 S213 路面改造。两种自愈合技术在福建公路工程的应用,有望延长路面服役寿命,提升路面服役韧性,降低养护成本,为复杂气候地区路面养护提供优质范例。

B02-14

高温对偏高岭土-稻壳灰基地聚合物的微观结构及强度的影响研究

张曼、刘杰胜*、王会创

武汉轻工大学

以偏高岭土、稻壳灰为原料,氢氧化钠和硅酸钠溶液为碱激发剂,成功制备了地聚合物材料,研究了高温对其微观结构和力学性能的影响。采用 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜、阿基米德法和三点弯曲法对地聚合物经不同温度烧结后的物相组成、微观结构、孔隙率和弯曲强度进行了表征。结果表明,随着烧结温度的升高,地聚合物由无定形状态逐渐向晶态转变,晶体相逐渐生成并占据主导。地聚合物材料的气孔率和弯曲强度均随烧结温度的升高呈先增大后减小的趋势。适宜的烧结温度有助于材料致密化及力学性能的提升,但过高的烧结温度会导致热应力集中和孔隙增多,进而削弱材料的弯曲强度。

B02-15

Influence of pretreatment process on the carbonization performance of steel slag sand

Hui Wang^{*1}, Ning Li¹, Shaowei Zhao¹, Yali Wang², Yongchao Zheng¹, Suping Cui²

1. Beijing Building Materials Academy of Sciences Research

2. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China

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 pretreatment processes of hot splashing and pressure-hot stew was used as the research object, and the influence of two kinds of pretreatment processes on the carbonization performance of steel slag sand were systematically studied, including the apparent density, particle size distribution, carbonization efficiency, autoclave pulverization rate, autoclave stability and other properties. 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 sands was clarified. The study provides the possibility and theoretical basis for the application of carbonized steel slag as fine aggregate.

B02-16

聚光太阳能直接快速煅烧水泥熟料特性研究

王艳*、马骥堃、雷东强、王志峰

中国科学院电工研究所

水泥行业是我国碳排放的重点领域之一，2025 年碳排放达到 15 亿吨左右。通过节煤降耗来降低 CO₂ 排放是目前碳减排最重要的技术手段。本研究提出采用太阳能替代化石燃料提供水泥生料煅烧过程中所需要的 800~1500°C 的高温热源，直接驱动以堆积态、具有一定孔隙率的波特兰水泥熟料的快速煅烧技术。

太阳能经一次反射或多次反射后直接入射到水泥生料表面，以 80~200°C/Min 的升温速率实现水泥生料的分解和熟料煅烧。通过开展水泥生料堆积形态、太阳能辐照变化等条件下的实验，研究高能流快速煅烧条件下不同水泥分解和煅烧过程中反应温度、反应时间对 CaO 活性、水泥熟料内部晶体发育特性、反应控制机制的影响。

研究表明：短时太阳辐照变化，不会影响水泥熟料的特性；当水泥生料以堆积态形式进行快速煅烧时，熟料内部会生成致密的晶体结构，且晶体发育速率较快，其中 C₃S 内部晶体尺寸更大、六边形和短柱状的 C₃S 晶体占比更高；受太阳聚光能流高斯分布特性（中心温度高、四周低）的影响，窑内水泥熟料晶体发育不均匀，中部晶体尺寸结构明显大于四周；生料内部反应温度控制机制是保障水泥煅烧成功的关键。

B02-17

基于太阳能驱动的水泥熟料形成过程物料光热性能调控

吴月健、王亚丽*

北京工业大学

水泥生产是高能耗、高排放的过程，尤其是 CO₂ 排放。其中燃料燃烧产生的 CO₂ 约占排放总量的 35%。太阳能作为一种清洁可再生能源，将其应用在水泥煅烧上可有效减少水泥生产的碳排放。利用太阳能直接煅烧水泥熟料，烧制的熟料中产生了 C₂S 和 C₃S，证明了太阳能可以直接驱动水泥熟料的生产。但在利用太阳能煅烧熟料过程中存在水泥物料的光热性能较低的问题，导致其吸收太阳光及光热转换效率不高。因此研究水泥原料及其不同配比生料的光热性能，以及掺加 MnO₂ 和 CuO 作为吸光剂，在掺量为 0.5%、1%、1.5%、2% 时对水泥物料光热性能以及水泥性能的影响。结果表明：在合理率值范围内改变率值对水泥生料的光热性能影响不大。在掺加 MnO₂ 和 CuO 后不同温度下水泥物料的光热性得到显著提升，但水泥熟料的力学性能有所降低。MnO₂ 和 CuO 掺量分别为 1% 和 0.5% 时，适用于利用太阳能煅烧水泥熟料。

B02-18

马歇尔击实参数对钢渣沥青混合料性能和内部结构的影响

宋昱*

武汉理工大学

马歇尔设计方法对压实参数提供了相对宽泛的控制,但忽略了不同性质集料造成的差异。主要研究马歇尔击实功对钢渣沥青混凝土(SAC)和石灰石沥青混凝土(LAC)性能和内部结构的影响。制备不同成型参数下的 SAC 和 LAC 试件,研究了其空隙率和路用性能。引入级配变异性(GVR)来评价其抗压实性能。通过 CT 扫描试验观察不同 SAC 和 LAC 的内部空隙结构,并通过图像处理计算集料接触点数。结果表明,增加压实功可降低沥青混凝土的空隙率,改善部分路用性能,但过度压实会降低沥青混凝土低温抗裂性。LAC 的孔隙率对压实参数更敏感,而 SAC 则表现出良好的成型承载能力。

B02-19

钢渣湿法固碳及其胶凝性能的研究

杨金龙、王亚丽*

北京工业大学

水泥行业作为高耗能、高排放的典型行业之一,面临着巨大的碳减排压力。钢渣的湿法固碳被认为是一种有效的封存 CO₂ 和改善钢渣作为辅助胶凝材料性能的方法。然而,湿法固碳过程仍然面临碳酸化效率较低的问题。本研究在水泥窑烟气氛围条件下,以甘氨酸和乙酸铵为添加剂,通过 XRD、FT-IR 和 TG-DTG 分析了碳化钢渣的相组成变化。实验表明,甘氨酸和乙酸铵都促进了钢渣的湿法固碳过程,固碳 80min 后,钢渣的碳酸化转化率分别为 47.66% 和 47.14%。同时,碳化反应可以降低钢渣中游离钙含量,显著改善了钢渣的安定性,并提高了钢渣-水泥胶凝材料的抗压强度。本研究为促进钢渣的湿法固碳,改善钢渣-水泥胶凝材料的性能提供了有效方法。

B02-20

一种钢渣集料的快速安定技术

朱耀阳、吴少鹏*

武汉理工大学

本研究基于碳酸化反应的原理,提出一种钢渣集料的快速安定技术。为了明确碳化对钢渣集料理化性能与安定性的影响规律及其演变机理,从形貌特征、矿物成分、理化性能、碳化深度、膨胀性以及路用性能研究碳化钢渣集料的技术优越性。结果表明:碳化 24h 后,10-15mm 和 5-10mm 钢渣集料 f-CaO 含量从 3.4%降低至 1.9%,降幅达到 44.1%。DSC、XRD 和电镜结果显示大量的 f-CaO 被转换为 CaCO₃,并且钢渣表面从平滑界面逐渐向复杂致密的结构演变,演变程度与碳化时间呈正相关。由于 CO₂ 与 f-CaO 填充了钢渣表面部分的微米级孔隙,降低了钢渣集料与外界的孔隙通道,集料与沥青混合料的体积膨胀率最高降低 37.6%,马歇尔稳定度和冻融劈裂的残留比分别提高了 8.1%与 3.1%,动稳定度无明显变化。从沥青混凝土的性能出发,建议对 f-CaO 含量 3.0%以上的钢渣集料碳化处理 24h。

B02-21

二乙醇单异丙醇胺络合作用下的钢渣水化特性

常磊、王剑锋、崔素萍*

北京工业大学

钢渣(SS)作为辅助胶凝材料水化活性较低,二乙醇单异丙醇胺(DEIPA)是一种能提高水泥基材料水化活性的外加剂。本文系统研究了 SS 的水化进程、DEIPA 与金属离子的络合作用及 C3A 和 C3S 在 DEIPA 作用下的溶解特性。结果表明,DEIPA 促进了铝相(C3A 和 C12A7)、铁相(C2F)和硅相(C3S 和 C2S)水化,生成了大量的单碳铝酸盐、对铝氢方解石和 C-S-H 凝胶。在水化早期,水化产物主要是 C-S-H 凝胶、单碳铝酸盐、对铝氢方解石;在水化后期,水化产物主要是 C-S-H 凝胶和对铝氢方解石。单碳铝酸盐可能在后期转化为了对铝氢方解石。这种水化促进作用与 DEIPA 的络合有关。DEIPA 通过与金属离子络合,促进了矿物溶解和被络合的金属离子的沉淀。DEIPA 对 Al³⁺的络合作用更强,使其对 C3A 的增溶作用更

强，因此，形成了更多的含铝水化产物。DEIPA 对 Ca^{2+} 的络合作用较弱，因此对 C3S 的增溶作用较弱，这也使 DEIPA 对硅相水化的促进作用较弱。DEIPA 对矿物的增溶作用提高了 SS 的水化活性，从而提高了硬化 SS 浆体各龄期的抗压强度。

B02-22

基于动态二硫键的自愈合 SBS 改性沥青的制备与性能研究

张天伟，余剑英*

武汉理工大学

基于动态二硫键的断裂-重排自愈合特性，本文将含有碳碳双键 ($\text{C}=\text{C}$) 的动态二硫键化合物引入 SBS 改性沥青中，开发了一种新型自愈合 SBS 改性沥青。傅里叶变换红外光谱分析表明，动态二硫键成功引入了 SBS 分子链之间。荧光显微镜图像显示，动态二硫键化合物的加入改善了 SBS 改性沥青的网络结构，当其掺量为 0.6% 时，SBS 改性沥青呈现出较完善的网络结构。动态剪切流变仪和弯曲梁流变仪实验结果表明，相比普通 SBS 改性沥青，自愈合 SBS 改性沥青具有较好的高、低温流变性能。断裂愈合实验结果表明，动态二硫键显著增强了 SBS 改性沥青的自愈合性能，自愈合 SBS 改性沥青的愈合率为 66.3%，而相同条件下普通 SBS 改性沥青的愈合率仅为 35.8%。

B02-23

PAM/PVA 聚合物水泥电解质的结构-性能关系研究

包警豫、崔素萍*

北京工业大学

本研究针对建筑结构储能一体化需求，开发了兼具力学性能和离子电导率的聚合物水泥电解质 (PCEs)。通过研究聚丙烯酰胺 (PAM) 和聚乙烯醇 (PVA) 单一聚合物体系，并采用氢氧化钾 (KOH) 和双三氟甲烷磺酰亚胺锂 (LiTFSI) 作为离子导电相，通过 XRD、MIP、SEM、EIS 等表征手段分析了材料的化学结构、孔隙特征、力学性能和电化学性能。研究发现：PAM 在水泥基体中形成更多连通孔隙，在 KOH 体系中表现出较高电导率但较低强度；PVA 在水泥基体中形成更致密的结构，在 LiTFSI 体系中强度较高但电导率较低。孔隙结构呈双峰分布，是实现离子电导率和力学性能平衡的关键。通过调控聚合物配比和导电相选择可优化 PCEs 性能，在结构储能一体化领域具有潜在的应用价值，为智能建筑材料设计提供了新思路。

B02-24

不同活化方式对废胶粉改性沥青储存稳定性及流变性能的影响

韩沐妍、陈美祝*

武汉理工大学

随着我国交通运输业的快速发展，废轮胎总量持续攀升，将其破碎加工为废胶粉并用于沥青改性，是实现废轮胎绿色回收与资源化利用的有效途径。然而，废胶粉改性沥青存在储存稳定性差、黏度高等技术瓶颈，制约了其在路面工程中的推广应用。本研究采用微波活化、废食用油活化及复合活化三种方式对废胶粉进行预处理，通过微观形貌表征对比了活化前后废胶粉的表面特性，并系统评价了不同活化方式对改性沥青高低温性能及储存稳定性的影响，结合红外光谱分析揭示了改性机理。结果表明：活化处理可显著增加废胶粉表面粗糙度，从而增大其与沥青的界面接触面积；三种活化方式均能提升改性沥青的低温性能，但废食用油活化会略微降低材料的抗变形能力。在储存稳定性方面，三种活化方式均表现出改善效果，其中复合活化的提升幅度最为显著，可达 65%。傅里叶变换红外光谱分析证实，活化处理未改变改性沥青的化学结构，其改性机制仍以物理共混为主。本研究证实，废胶粉活化处理不仅实现了废食用油与废轮胎的协同资源化利用，还能有效解决废胶粉改性沥青的关键技术问题，为其在道路工程中的应用提供了可靠的

技术支撑，具有重要的工程意义。

B02-25

超疏水 CuO@SiO_2 核壳材料抗菌涂层的制备与性能研究

孙静、冯庆革*

广西大学

有效抑制细菌在材料表面的粘附繁殖并实现灭菌是保障公共卫生安全的关键措施。前期研究表明，在基材表面构建超疏水抗菌涂层可有效实现这一目标。但涂层表面微纳米结构因材料固有脆性易受机械损伤破坏或污染，导致涂层抗菌性能下降甚至丧失。本研究以四乙氧基硅烷(TEOS)为硅源，采用 1H,1H,2H,2H-全氟癸基三乙氧基硅烷作为改性剂，通过改进的 Stöber 法成功制备超疏水 CuO@SiO_2 核壳纳米材料，并利用一步喷涂法构筑了 CuO@SiO_2 抗菌涂层。结合现代分析技术 (SEM、XRD、FT-IR 及接触角测试) 优化了材料合成条件，通过机械磨损测试、细菌粘附实验和抗菌性能评价系统研究了涂层的综合性能。实验结果显示，所制备的抗菌涂层具有超疏水特性且机械稳定性良好，接触角高达 158.6° ，经 30 次机械磨损循环后仍保持疏水特性。得益于表面超疏水特性与铜离子缓释的协同杀菌效应，涂层展现出优异的自清洁抗菌性能，可显著抑制大肠杆菌的粘附，杀菌效率超过 90%。

本研究开发的 $\text{CuO@SiO}_2/\text{PS}$ 超疏水抗菌涂层具有工艺简便、固化快速等优势，展现出良好的应用潜力。该成果不仅为抗菌涂层的规模化制备提供了新方案，同时也为废弃塑料的资源化利用开辟了创新思路。

B02-26

铈掺杂的钴铁氧体催化剂制备及转化 CO_2 性能研究

朱佳佳、崔素萍*

北京工业大学

水泥工业是典型的高耗能高排放的“两高”行业，水泥生产过程中 CO_2 的排放主要集中在碳酸盐的分解，分解炉中产生的 CO_2 大约占水泥窑 CO_2 总排放量的一半左右。为积极响应国家双碳战略，水泥行业迫切需要大力发展有效的 CO_2 减排技术。本研究使用化学共沉淀法，制备了不同含量铈离子 (Ce^{3+}) 掺杂的钴铁氧体纳米材料 $\text{CoFe}_{2-x}\text{Ce}_x\text{O}_4$ (摩尔分数 $x=0, 0.05, 0.10, 0.15$) 作催化剂，通过两步热化学氧化还原循环反应将 CO_2 转化为 CO ，并研究了铈离子含量及还原温度对钴铁氧体催化活性的影响，利用 XRD、SEM、EDS、XPS、BET 等多种表征手段对反应前后的材料进行了系统的表征，探究活性位点，分析反应机理。结果表明，还原温度为 1000°C ，氧化温度为 800°C 时， $\text{CoFe}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{O}_4$ 对 CO_2 的转化效果最好， CO 的生成量最高。

B02-27

疏水 $\text{C}_{14}\text{@SiO}_2$ 微胶囊的制备及其防/除冰涂层的性能研究

张顺谊、冯庆革*

广西大学

防/除冰对保障航空安全、电缆输电、交通运输、海洋设施稳定运行及降低经济损失具有重要意义。近年来，光热超疏水涂层具有高效光热转换与超疏水特性，其防冰除冰效果显著，但光热超疏水涂层的制备工艺较为复杂，使用较多有机疏水改性剂或者含氟的疏水改性剂，并且在无光或弱光的情况下光热性能会大打折扣。基于此，本研究引入相变材料（在相变过程中会吸收或释放大量潜热），采用原位水解-缩合法合成十四烷(C_{14})@二氧化硅(SiO_2)微胶囊，然后复合炭黑、环氧树脂，通过简单的喷涂法，固化后浸泡在聚二甲基硅氧烷(PDMS)溶液中，制备出具有良好耐磨性，化学稳定性自清洁性能的光热疏水涂层。通过表征分析出 $\text{C}_{14}\text{@SiO}_2$ 微胶囊的成功合成；涂层经 0.2g PDMS 浸泡 2h 后接触角达 142.3° ；并经 25 次磨损后仍具有疏水性能；在模拟太阳光条件，5 分钟内可从 30°C 升至 106.7°C ，延迟结冰时间约 3100 秒。

本研究采用相变材料的相变解决了在无光或弱光下光热性能的不足，采用浸泡方法简化了疏水涂层的制备，为工业化大规模制备疏水涂层以及防/除冰提供了新的研究思路。

B02-28

机械球磨辅助一步法快速合成 SiO₂ 气凝胶

左晨、冯庆革*

广西大学

SiO₂ 气凝胶材料具有优异的物理、光学和声学特性，在保温隔热、节能技术及建筑制造等领域具有良好的应用前景。但是存在着生产工艺复杂，制备周期过长，生产成本高昂等问题，使其应用受限。本研究结合机械球磨辅助一步溶剂替换/表面改性工艺（MAF）实现快速合成高疏水性 SiO₂ 气凝胶。通过一系列表征手段系统地考察了 SiO₂ 气凝胶的制备过程、微观结构和物化性质。研究结论如下：（1）将制备出的 SiO₂ 水凝胶浸泡在含乙醇/正己烷/三甲基氯硅烷（TMCS）的混合液中，采用机械球磨辅助水凝胶老化，实现了溶剂替换及表面改性的同时进行，通过常压干燥制备出具有疏水性的 SiO₂ 气凝胶。（2）考察了球磨时间、转速及疏水剂用量三种参数对 SiO₂ 气凝胶结构的影响。合理的球磨时间和转速能够起到加速凝胶老化和调节孔径结构的作用。适当的疏水剂用量不仅能降低干燥时期产生的毛细管力作用，还能提升材料的疏松多孔。（3）球磨时间为 60 min，球磨转速为 400 rpm，n（TMCS）：n（n-hexane）为 2.50 时，SiO₂ 气凝胶具有最高的比表面积为 756.351 m²/g，孔体积为 0.747 cm³/g，平均孔径为 3.861 nm。与传统的工艺相比，老化时长从原有的超过 24 小时缩短至 1 小时，疏水剂用量减少了 40%。研究结果对制备小孔径 SiO₂ 气凝胶具有重要的现实意义。

B02-29

中国 N 型和 P 型光伏组件制造和使用的环境影响评估

王振国*、高峰、刘宇、孙博学

北京工业大学

长期以来，太阳能一直被认为是一种清洁无污染的能源，因为它吸收阳光而不消耗其他能源或材料，并且不会排放污染物。然而，太阳能发电系统的制造和报废阶段会留下环境足迹并产生污染物。因此，有必要使用生命周期评估方法对光伏（PV）系统进行全球视角分析。在这里，我们研究了 P 型和 N 型光伏组件在能耗、碳排放和人类潜在毒性方面的生命周期影响。此外，还计算了 P 型和 N 型光伏组件的能源回收持续时间。在本研究中，我们使用了北京工业大学工业大数据应用技术国家工程实验室的生命周期评估基础数据库，创建了 N 型光伏组件的生命周期评估模型。随后，我们对中国硅 N 型和 P 型光伏组件进行了生命周期评估。该研究体系包括金属硅材料、太阳能级硅材料、硅片、电池和组件的生产过程、利用、回收和其他相互关联的过程。我们发现，硅制太阳能级多晶硅原料的生产和加工是显著影响中国 P 型和 N 型光伏组件能耗和环境的关键阶段。该工艺的高耗电量，加上煤电在中国电力结构中的主导地位，导致了光伏组件的巨大能源消耗和环境影响。因此，这一阶段对于中国 N 型光伏组件的低碳和环境可持续制造至关重要。与 P 型和 N 型光伏组件相比，P 型和 N 型光伏组件仅在电池生产阶段的碳排放量较低，而在其他阶段的碳排放量较高。N 型双面光伏组件在能源方面的能源回报率最高。不同的地区和安装类型对 P 型和 N 型光伏组件的碳排放有重大影响。预测表明，到 2060 年，N 型光伏组件碳排放的潜力将增加。

B02-30

碱熔活化钢渣制备单组分碱激发胶凝材料及其固化软土性能研究

杨鑫馗*

武汉理工大学

单组分碱激发胶凝材料是水泥的低碳替代品,可以减少二氧化碳排放,同时提高固废利用率。本研究通过碱熔钢渣矿物相组成和微观形貌筛选出最佳碱熔工艺。然后,采用碱熔钢渣和磨碎颗粒高炉渣制备单组分碱激发胶凝材料,研究制备工艺对单组分碱激发胶凝材料的反应产物、微观结构、浸出特性和机械强度的影响。最后,使用单组分碱激发胶凝材料制备固化软土并研究其工作性能与耐久性能。研究成果将为钢渣在胶凝材料中的应用提供新的见解。

B02-31

复合材料 BiFeO₃/Bi₅O₇I 的合成及其对 PFOA 可见光催化降解的研究

李嘉楠、冀剑、袁梦欣、李素梅*、陈莎

北京工业大学

金属有机骨架(Metal organic framework, MOFs)是一类结晶和多孔材料,凭借其较大的比表面积、高的孔隙率、结构功能可定制等诸多优点,目前在环境治理尤其是在光催化降解领域展现出广阔应用前景。本研究以 MOFs 材料 MIL-101(Fe)为主要材料,通过引入 Bi 系半导体材料 BiOI 构建复合体系,最后采用高温煅烧法成功制备了复合光催化剂 BiFeO₃/Bi₅O₇I。通过对 BiFeO₃/Bi₅O₇I 进行 XRD、FT-IR、SEM、XPS 等一系列表征,证明其成功合成。该合成方法旨在通过异质结构构建与能带调控,优化材料的光响应范围与电荷分离效率。以全氟辛酸(PFOA)为目标污染物进行光催化降解测试,评价该复合材料的光催化性能,并通过降解产物分析对其降解机理进行探究,最后对其循环稳定性进行测试。结果表明,通过煅烧,拓宽了材料对光的利用范围,吸收边拓宽到 700 nm,增强了其对紫外光和可见光的吸收,同时减少了材料的带隙宽,说明其有效地降低了电子跃迁所需要的能量,验证了 BiFeO₃与 Bi₅O₇I 的成功复合及界面相互作用。通过光降解实验,发现该材料可以在可见光条件下实现光催化降解,在 pH=4, 催化剂用量 15 mg 时,反应 48 h 后对 PFOA 的降解率最高,达到了 91%。该材料在光催化降解方面有高度的稳定性,经过三次重复光催化降解测试后,对 PFOA 的去除率仍保持在 90%。通过自由基捕获实验,发现在催化过程中起主要作用的活性物质为 h⁺和超氧自由基。本文的研究结果为 PFOA 的高效降解提供了新策略,可为同类光催化材料的改性提供理论参考与技术借鉴。

B02-32

铝灰资源化制备 Al₂O₃-SiO₂ 复合气凝胶

吴清豪、冯庆革*

广西大学

铝灰是铝工业过程中产生的固体废物,由金属铝、氧化铝、氮化铝及氟化物等组成,因具有反应性和毒性被列为危险废物,将其无害化处置和资源化利用是亟待解决的难题。本研究利用铝灰中的氧化铝制备拟薄水铝石(PB)作为铝前驱体,四乙氧基硅烷(TEOS)为硅源,通过溶胶凝胶法和常压干燥制备出 Al₂O₃-SiO₂ 复合气凝胶,并测试其耐高温性能。结论如下:(1)对铝灰进行高温煅烧和碱浸处理,按铝灰:碳酸钠:氯化钙质量占比为 5:4:1 混合后进行煅烧,铝灰煅烧后按液固质量比为 5:1 加入质量浓度为 3%的 NaOH 溶液浸出,能将 AlN 成分有效去除,NaF 和 AlF₃ 成分被转化为难溶性的 CaF₂,铝的提取率达 36.59%。(2)采用一定浓度 NaHCO₃ 溶液与浸出液进行水热反应制备拟薄水铝石,通过实验确定了合适的反应温度、反应时间、NaHCO₃ 溶液浓度等反应条件,制备出的拟薄水铝石胶溶性能良好,胶溶指数达到 95.22%。(3)以资源化回收的拟薄水铝石制备出 Al₂O₃-SiO₂ 复合气凝胶,复合气凝胶室温下的导热系数为 0.046W/(m K),经 1150°C 热处理后气凝胶比表面积为 106.6m²/g,相较于商用拟薄水铝石制备的气凝胶,本研究的气凝胶性质和热处理后的稳定性表现良好。

B02-33

液晶面板产品碳足迹核算与回收工艺环境影响差异分析

许周仪、吴沛泽、余舒婕、李晓桐、刘奕男、陈莎*

北京工业大学

为应对全球气候变化和推动产业绿色低碳发展，产品碳足迹逐渐成为全球贸易壁垒的关键抓手和衡量可持续发展状况的核心指标。液晶面板作为高能耗、高排放的典型产品，其全生命周期碳足迹的精准核算与产业减排对区域绿色制造和全球气候治理体系建设具有重要意义。本研究以北京市典型液晶面板产品 TFT-LCD 为研究对象，采用生命周期评价（Life cycle assessment, LCA）对其全生命周期阶段进行碳足迹核算。此外，系统分析比较"有氧热解-酸浸富集-水热晶化"、"破碎-水热-酸浸"和"真空热解-真空氯化"三种典型回收工艺的环境影响，为我国低碳转型下液晶面板产品无害化处理工艺选择提供科学支撑。结果表明，一款 55 英寸的 TFT-LCD 液晶电视产品生命周期碳排放总量为 1482.15 kg CO₂eq/台。由于当前电力结构仍以火力发电为主，且液晶面板产品长期运行造成的高能耗，使用阶段成为液晶面板产品碳足迹的主要来源（占比达 87.91%）。生产阶段因玻璃基板和刻蚀气体 SF₆ 等的大量使用贡献了较多的碳排放，其中阵列工程和模组工程是其排放的主要来源。核算三种工艺下回收 1kg 钢和 1t 玻璃的碳排放量，结果表明，回收钢产生的碳排放均高于矿石钢开采，而回收玻璃产生的碳排放则比通用工艺制作玻璃分别降低了 48%、80%、55%。现有回收钢工艺并未显著降低其碳排放，而玻璃回收工艺有显著减排。建议未来在生产中应用玻璃再生回收的闭环生产以促进资源循环利用。

B02-34

新型可持续再生压铸 Al-Si 合金的高通量设计及实验验证

何毅、疏达*

上海交通大学

随着对环境可持续性和碳中和的日益重视，再生铝合金因其与原铝相比能耗低、碳排放量少而备受关注。然而，在铝废料的整个生命周期中，回收过程中铁杂质的积累会显著降低合金的机械性能。我们利用基于 CALPHAD 的高通量计算（HTC），在高维成分空间内快速识别废铝中的高铁含量成分，从而避免形成铸造缺陷和过多的原生金属间化合物。为了验证筛选结果，采用高压压铸（HPDC）工艺制造了所设计的合金，并研究了合金的微观结构和机械性能。结果表明，铸态合金在室温下具有高的强度（抗拉强度 380MPa）和工业可接受的延伸率（4.82%），展示出卓越的强度塑性协同作用。这项研究表明，基于多尺度计算的材料设计是提高废铝回收率的有效策略，有助于加快低碳铝铸件的工业化进程。

B02-35

基于 MOF 的 SERS 基底构建及其在沥青挥发性有机物检测中的应用

吴锦怡*

武汉理工大学

沥青挥发性有机物（VOCs）具有高挥发性与强反应活性，其光解产物是臭氧及二次有机气溶胶的前驱体，易引发大气复合污染，危害生态环境和人体健康。然而，沥青 VOCs 成分复杂、释放量低、排放无组织且受环境影响大，导致其现场采集、快速检测及实施监控难度大。为解决现有技术灵敏度低、程序繁琐和难以实现原位检测等问题，本研究提出一种适用于沥青路面 VOCs 的原位快速识别方法。采用表面增强拉曼散射（SERS）技术，结合便携式拉曼光谱仪，实现对沥青 VOCs 的高效识别。针对传统 SERS 基底对气体检测效果差的问题，本文开发了一种由花状纳米银球（AgNPs）与金属有机框架材料（MOF）复合构成的新型 SERS 基底，借助 AgNPs 的表面等离子体共振效应与 MOF 的气体吸附富集能力协同增强拉曼信号。选用甲苯为模型污染物优化 AgNPs 添加量，结果表明 30 μ L 时在 ZIF-8 表面均匀分布并形成大量热点，实现最佳信号增强佳。该基底表现出优异的重复性与稳定性，最低可检测浓度达 0.1 ppm，并成功定

量测得沥青 VOCs 中甲苯浓度为 6.871 mg/cm^3 。研究成果为交通领域污染监测提供高效手段，助力绿色发展。

B02-36

TEA/EDTA-2Na 复配体系下 CCCW 的性能研究

龚后奇、崔素萍*

北京工业大学

水泥基渗透结晶防水材料（CCCW）的防水修复效能受限于传统活性组分对复杂环境的适应性不足，且存在早期强度与长期耐久性的矛盾。本研究以三乙醇胺（TEA）、乙二胺四乙酸二钠（EDTA-2Na）为对象，通过紫外光谱、电导率滴定、XRD/SEM 研究了络合剂在高碱环境（ $\text{pH}>10$ ）下的络合行为。结果表明，在水泥基体中 TEA 会优先络合 Al^{3+} ，而 EDTA-2Na 优先络合 Ca^{2+} 。同时，本研究制备了一系列 CCCW 水泥试件进行力学性能与耐久性测试，实验表明，1%掺量下 TEA-EDTA-2Na 复配体系（1:1）下，3d 强度和 28 天抗压强度都有显著提升，28 天氯离子扩散系数大幅度降低，28 天抗渗性大幅提升。本研究为高环境适应性 CCCW 的设计提供了理论依据，在海洋工程与地下设施中具有广阔应用前景。

B02-37

石膏溶解特性对 C3A-C4A3S 复合体系水化进程的影响

黄炳银、崔素萍*

北京工业大学

石膏常被用作硅酸盐-硫铝酸盐复合水泥的调凝剂，主要作用于铝酸盐矿物（铝酸三钙和无水硫铝酸钙（C3A 和 C4A3S $\bar{S}$ ））。然而，石膏溶解特性对铝酸盐矿物水化的影响尚不清楚。本文采用等温量热仪、XRD、TG-DTG 等表征方式系统研究了半水石膏、二水石膏和无水石膏对 C3A-C4A3S $\bar{S}$ 复合体系水化进程的影响，基于 Krstulovic-Dabic 和 Kondo 模型计算了水化反应各阶段的动力学参数。结果表明，石膏的加入缩短了该复合体系的水化诱导期，其中，半水石膏对诱导期的影响最大，其次是二水石膏，无水石膏对诱导期的影响最小。从水化动力学角度来看，含半水或二水石膏的复合体系，水化由相界-扩散反应控制，而含无水石膏的复合体系，水化则由相界-扩散-自催化-扩散反应控制。

B02-38

内源金属在复合固废有机高分子材料热解中的作用机理研究

田中训、李彬、庞文龙、翟梦瑜、吴玉锋*

北京工业大学

本研究聚焦于复合固废中含卤（如 PVC、BERs、PVDF）与不含卤（如 PE、PP）塑料在内源过渡金属催化作用下的热解行为与机制。针对不含卤聚烯烃，采用 ReaxFF 分子动力学与 DFT 方法模拟其在过渡金属表面上的热解路径，结果表明过渡金属可显著降低 C-C 与 C-H 键的断裂能，促进 H 自由基生成，并加快小分子产物的产生。在 Co、Ni、Cu 三种金属中，Cu 的催化效果最为显著。Py-GC/MS 实验验证了模拟结果：在 460°C 条件下，Cu 催化下 PP 的 C1-C10 产物比例由 23.37% 提升至 41.84%。对于含卤塑料，第一性原理计算表明，过渡金属通过电子转移作用可降低脱卤反应能垒，PVC 和 BERs 在 Fe、Co、Ni 催化下的脱卤能垒可降至 $56\sim 75 \text{ kJ/mol}$ 。过渡金属对 PVDF 的脱氟催化效果有限，其热解仍更倾向于优先生成 HF。实验进一步表明，过渡金属可有效减少氯代和溴代副产物的生成，提升小分子产率，其中 Cu 展现出优异的脱卤与产物调控能力。能值分析结果显示，过渡金属催化热解显著降低了能值投入与环境负荷，BERs-Cu 体系在能值消耗与温室气体排放方面较非催化体系分别下降超过 70%。本研究揭示了内源金属对高分子热解的促进机制，为复合固废中金属-有机组分的协同处理与资源化利用提供了理论依据。

B02-39

不同 PET 塑料回收方法的生命周期评价和烟分析

筹政杰、聂祚仁*、刘宇、孙博学、龚先政

北京工业大学

随着全球塑料产量的增加，废塑料的产生量快速增长，极大地促进了塑料回收方法的发展。对不同塑料回收方法进行科学评价有助于分析对比它们的优势和不同应用场景。本研究采用生命周期评价（LCA）方法对比了机械回收、化学回收和生物回收三种不同塑料再生技术的资源消耗、碳足迹和其它环境影响类别。结果表明，机械回收具有最低的环境影响和资源消耗，而生物回收方法具有较高的可持续性。以热力学函数化学烟量化废塑料的资源价值具有客观性和长期有效性，对酶生产、纯化、解聚塑料等过程的详细建模为利用其它塑料水解酶进行生物回收的生命周期评价提供了参考和路径。这些发现将促进塑料行业开发和采用更可持续的生产和回收技术。

B02-40

硫酸铈改性协同提升钒钛基 SCR 催化剂抗铈中毒性能

孟令钦、崔素萍*、王亚丽、李佳骏

北京工业大学

水泥烟气中的铈（Tl）中毒会严重影响钒钛（V/Ti）基 SCR 催化剂的性能，导致催化剂迅速失活。为解决这一问题，本研究创新性地采用硫酸铈（ $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ ）代替传统的氧化铈（ CeO_2 ）作为促进剂，对钒钛催化剂（VCeSTi）进行改性，从而显著提高其抗铈性能。实验结果表明，在 5 wt% 硫酸铈负载量下，改性催化剂展现出卓越的抗 Tl 毒化能力。当 Tl 负载量 ≤ 4 wt% 时，VCeSTi 催化剂在 300-450°C 宽温度窗口内维持了 90% 以上的高 NO_x 转化率，特别是在 450°C 高温下，Tl 中毒后转化率仍高达 98.52%，接近新鲜催化剂水平。性能提升源于硫酸铈独特的协同作用机制： SO_4^{2-} 基团通过化学吸附选择性固定 Ti^+ 离子，有效保护了关键的 $\text{V}^{5+}=\text{O}$ 活性位点，并维持了 $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ 氧化还原对的动态平衡。多尺度表征证实，硫酸铈改性优化了催化剂的介孔结构，提高了比表面积和孔容，并在毒化后有效保留了表面酸性位点和氧化还原能力。本研究为设计高性能抗 Tl 中毒 SCR 催化剂提供了新策略和理论依据，在水泥等高 Tl 污染行业烟气脱硝中具有重要应用潜力。

B02-41

 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ 超疏水多功能协同抗菌涂层的制备及其性能研究

袁树雨、冯庆革*

广西大学

氧化锌（ZnO）因其兼具光催化型和金属型抗菌剂的抗菌机制，且不易诱发细菌耐药性、对正常组织细胞毒性低，而广泛应用于抗菌材料。但 ZnO 仍存在可见光下催化效率低及环境稳定性差等问题。本研究通过溶胶-凝胶法制备 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ 纳米颗粒，以 PDMS 作为粘合剂，采用喷涂法一步制备具有抗菌性能的超疏水 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ 复合涂层，实现了超疏水抗细菌粘附、光催化和金属离子杀菌相结合的新型抗菌模式。主要研究内容和结论如下：（1）以溶剂热法制备的 ZnO 和钛酸四丁酯为原料，采用不添加去离子水的溶胶-凝胶法制备 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ 纳米颗粒，仅添加少量氨水，即可制备出厚度均匀的 TiO_2 壳层。（2）通过控制 Zn/Ti 摩尔比可以制备出不同壳层厚度的 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ 纳米颗粒， TiO_2 壳层的形成会减缓 Zn^{2+} 的释放。（3）以 PDMS 为粘合剂制备的 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ 复合涂层具有超疏水性能和优异的自清洁性能，疏水角可达 151.3° 。同时，涂层具有优异的机械稳定性和化学稳定性，在经过 50 次磨损和 10 天酸碱溶液浸泡后仍具有疏水性能。制备的涂层凭借其表面超疏水性及光催化与金属离子释放的协同抗菌作用，在黑暗与可见光条件下对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和鲍曼不动杆菌均表现出优异的杀菌性能。

B02-42**基于焓函数的有色金属湿法冶金物能转化效率分析模型**

鲁信根*

北京工业大学

随着绿色发展推动全球能源结构加速转型，对金属资源的需求激增，进一步加剧了金属品位的下降，进而增加冶金行业的物能消耗。湿法冶金作为冶金工业的主流工艺之一，在处理过程中因溶液体系中离子种类繁多、性质相近，金属分离与富集的物能消耗始终较高。然而，目前针对湿法溶液体系中离子资源的表征方法研究仍较为缺乏，限制了对湿法冶金物能效率的准确评估与优化。

本研究通过建立有色金属湿法冶金流程中离子的资源表征方法，构建面向湿法冶金工艺的物能转化效率焓表征模型，旨在为提升冶金过程的能效水平提供科学支撑与量化依据。

B02-43**碳氢基石墨烯对沥青物化性能及 VOCs 排放影响研究**

樊岩松、陈美祝*

武汉理工大学

碳氢基石墨烯（HG）作为石油化工副产物衍生的功能性材料，具有规模化生产优势，能够满足沥青材料应用需求。为系统评估 HG 在沥青材料中的应用潜力，本研究首先对 HG 的理化特性进行了表征，进而制备了不同掺量的碳氢基石墨烯改性沥青（HGMA），并对其物理性能、储存稳定性、流变行为和官能团结构进行了系统研究，同时定量分析了 HG 掺量对改性沥青挥发性有机化合物（VOCs）排放特性的影响。研究表明，HG 具有层状多孔结构，这种特性有利于其与沥青分子间的界面融合并增强吸附性能；相较于基质沥青，HGMA 的硬度显著提高且温度敏感性明显降低；当 HG 掺量为沥青质量的 1.5% 时，其在沥青体系中呈现均匀分散状态。HG 的引入可有效提升沥青的弹性恢复性能和抗车辙能力，但会降低其抗疲劳性能并增加低温脆化风险。傅里叶变换红外光谱分析表明，HG 的加入未改变沥青的特征官能团结构，证实其改性机制为物理共混。值得注意的是，HG 对沥青 VOCs 的抑制作用与掺量呈正相关关系，当掺量达到 1.5% 时，VOCs 的最大浓度和稳定浓度分别降低了 58% 和 60%。本研究为碳氢基石墨烯在沥青材料中的工程应用提供了理论依据和技术支撑。

B02-44**典型电子电器的全生命周期评价研究**

龚汉芳*

北京工业大学

随着全球气候变化问题日益严峻，电子电器设备（EEE）作为增长最快的废物流之一，其全生命周期环境负荷受到广泛关注。EEE 全生命周期中，使用阶段对全球变暖潜能值（GWP）的贡献占比最高、其次为原材料生产阶段。循环再生可使电视机、冰箱、洗衣机、空调和计算机的碳排放分别降低 25%、140%、128%、313%、70%。在电力结构优化与设备性能衰减的协同作用下，预计 2040 年电视机、冰箱、洗衣机、空调和计算机在使用阶段将分别减少碳排放 948 kg CO₂ eq、920 kg CO₂ eq、464 kg CO₂ eq、1698.42 kg CO₂ eq、311 kg CO₂ eq。多变量下的工序优化分析表明，全生命周期协同减排效果显著优于单一工序优化，其中使用阶段减排贡献率达 50% 以上。

B02-45**丙烯酸钙浆液在砂土稳定固化中的性能研究与机理探讨**

江俊澹*

成都理工大学

砂土具有渗透性高、稳定性差、易侵蚀流动等岩土工程问题。本文以丙烯酸和氧化钙为主剂，研究了一种丙烯酸钙浆液（CAS）材料及聚合机理，并以砂土为加固对象，从力学性能、水理性能和耐久性三个方面综合评价 CAS 的固砂效果，结合颗粒微观胶结结构观测，揭示渗透性浆液胶结固化机理。结果表明：综合性能较为优良的 CAS 组成质量百分比为主剂 60.58%、水 38.46%，AP0.96%。CAS 常温下是一种淡黄色液体，引发剂作用下形成乳白色胶凝体，可吸收大量水分，三维网状结构可以较好包裹松散砂土颗粒，使天然砂具有低渗透率、高保水率和良好的水稳定性。砂土加固效果随砂土密度和浆液掺量的增大而增大。另一方面 CAS 的存在可以使固砂体表现出良好的抗冻融性和紫外耐久性。SEM 图像显示，CAS 增强砂存在吸附-缠绕-包裹、颗粒桥接与孔隙充填三种作用机制。由于 CAS 无毒无害、渗透性好、胶凝时间可控、塑性强度高、粘结性好，因此可以作为一种生态有效的固砂材料。

B02-46

铈中毒 SCR 催化剂的湿法再生

王佳龙、崔素萍*

北京工业大学

由于氮氧化物对环境和人体带来的危害，其排放一直是人们所关注的问题。选择性催化还原法（SCR）是至今脱除烟气中氮氧化物最成熟有效的方法，催化剂作为整个 SCR 脱硝系统的核心，其性能的好坏直接关系到脱硝效率的高低。在水泥窑当中，原料以及煤炭中均含有铈元素，其会随着烟气经过 SCR 催化剂并发生富集现象，最终导致催化剂的失活。本研究针对钒钛基 SCR 催化剂的铈中毒问题，使用了不同种类的溶剂对催化剂进行再生处理，并采用了活性测试、XRD、XPS、XRF、ICP-OES、BET 等手段进行表征。结果表明，经硫酸、硫脲、过氧化氢处理后，催化剂在工作温度下的脱硝活性达到了 95%以上，铈元素含量显著下降，比表面积得到了改善。本研究为铈中毒催化剂的资源化再生提供了理论依据与技术支撑，促进催化剂的可持续发展。

B02-47

中间点-终点双层级碳减排技术评估方法研究

沈鸿海*

北京工业大学

随着我国碳达峰、碳中和目标的持续推进，碳减排技术部署面临减排潜力与环境效益失衡、技术成熟度与政策节点错配、资源竞争构成技术扩散壁垒等矛盾，急需构建面向碳减排技术的综合评估体系。为突破传统评估方法维度单一、隐性指标覆盖不全的局限，提出基于生命周期视角的中间点-终点双层级综合评估框架，中间点层级构建包含减排潜力、协同效益、发展水平、实施风险的四维评估模型，量化解析技术特征与适用场景，终点层级基于层次分析法构建需求导向的技术优先级决策模型，为低碳转型中的技术遴选与路径优化提供系统化决策支持。

B02-48

铝工业碳减排技术与减排效果评估研究综述

赵萌^{1,2,3,4}、高峰^{*1,2,3}、孙博学^{1,2,3}

1. 材料循环低碳再生全国重点实验室
2. 工业大数据应用技术国家工程实验室
3. 北京工业大学材料科学与工程学院
4. 北京工业大学碳中和未来技术学院

铝工业是全球温室气体排放的重要来源，铝碳减排技术的研究与应用对于实现低碳经济目标至关重要。研究介绍了我国铝工业的碳排放现状，指出 2000-2020 年间，铝工业生产的能耗和碳排放总量急剧上升，

其中电解阶段的碳排放占比最高且不断增加。在此基础上，利用生命周期思想对铝工业源头控碳、过程降碳、资源循环利用、末端碳减排捕集与利用四个领域的关键先进节能减排技术进行了综述，对四种路径中现有的技术、正在开发的技术以及尚未开发的技术工艺进行了系统梳理，并对不同减排技术的潜在减排效果进行了评估，指出综合运用多种技术手段是实现铝工业深度脱碳的有效途径，为铝工业碳减排技术选择和政策制定提供了建议与支撑。

B02-49

水泥窑烟气碳捕集的生命周期分配及评价研究

王心怡、王亚丽*

北京工业大学

在“双碳”目标下，碳捕集技术通过捕获水泥窑烟气中的二氧化碳并实现资源化利用，成为行业深度脱碳的重要方向。然而，该技术在全生命周期内的环境影响评估尚缺乏系统性方法，尤其在水泥生产与碳捕集环节的责任划分方面需进一步明确。本研究聚焦水泥行业碳中和目标，针对碳捕集系统环境责任归属问题，采用边界扩展、经济分配与质量分配等多种清单分配方法，对水泥生产与食品级二氧化碳的环境负荷进行科学划分。通过敏感性分析及多维度对比，发现质量分配法因计算简单、结果稳定性高，综合排名最优。基于该分配方案，系统开展化学吸收法碳捕集技术的全生命周期评价（LCA），与传统硅酸盐水泥工艺对比表明：碳捕集技术可显著降低水泥产品的全球变暖潜势（GWP），但电离辐射、陆地生态毒性等指标因捕集过程的电力消耗和吸收剂生产环节出现升高。

墙报

B02-P01

Current Status of Material Recycling from Typical Decommissioned Power Equipment and Evaluation of Its Carbon Emission Reduction Potential

weiqing zhou¹, Xiaoxuan Bai¹, Chao Li¹, Peng Li¹, Han Cui^{2,3}, Ning Ding^{*2}

1. State Grid Jibei Electric Power Company Limited Electric Power Research Institute

2. Research Center for Eco-Environmental, Chinese Academy of Sciences

3. University of Chinese Academy of Sciences

With the continuous advancement of power grid technologies, the variety and quantity of decommissioned electrical equipment are increasing significantly. Many discarded power grid assets, such as transformers, contain metals like aluminum and copper, which can be recycled as secondary resources. Their reuse is critical for resource conservation, environmental improvement, economic efficiency enhancement, and the achievement of carbon neutrality goals. This study focuses on typical electrical equipment, including transformers and cables, analyzing the current status and potential of material recycling from such devices while evaluating the associated carbon emission reductions. The findings reveal that existing disposal methods for decommissioned transformers exhibit low recycling efficiency, primarily recovering metallic components, with a metal recovery rate of less than 50%. Material recycling from discarded transformers demonstrates a carbon reduction potential ranging from -1% to 10%. The research outcomes provide a theoretical foundation for optimizing the management and recycling systems of decommissioned electrical equipment, promoting circular resource utilization, and reducing carbon emissions.

B02-P02**生态胶粘土透水路面水稳定性评价指标及标准研究**

林志明*

福建省交通科研院有限公司

近年来, 极端暴雨造成多个城市严重内涝, 生态胶粘土透水路面因环保性好、透水率大、防滑降噪效果好、缓解热岛效应等特点, 被寄予厚望。高温多雨地区, 受动水冲刷影响, 透水路面水稳定性受到关注, 但相关评价方法尚无研究。本次展示从试验方法、试件尺寸、试验条件、试验结果评价指标选择、水稳定性评价标准等方面, 系统化地提出生态胶粘土水稳定性的评价方法, 为该材料的推广运用提供标准化依据。

B02-P03**Whole-Cell Biosensor Films for Heavy Metal Toxicity Assessment**

Jie Wang, Sha Chen, Hanbing Li*

Beijing University of Technology

The rapid advancement of industrialization and urbanization has led to increasingly complex mixed heavy metal pollution in environmental media. Heavy metal pollutants exhibit persistent accumulation characteristics and induce toxic effects through bioaccumulation in the food chain, posing significant threats to ecosystems and human health. Traditional toxicity assessment methods focusing on single pollutants fail to reveal synergistic or antagonistic interactions among heavy metals and cannot accurately evaluate the toxicity of combined pollution in real environments. This study constructed an eco-film sensing system using *Vibrio fischeri*, optimized bacterial immobilization conditions, and validated applicability in complex environmental conditions. Dose-response curves were established for single and combined heavy metals (Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+}) to investigate their interaction mechanisms. Raman microspectroscopy was employed to analyze molecular characteristics of phenotypic responses in cells under heavy metal exposure. Results showed that the toxicity order for single metals was Cd^{2+} ($\text{EC}_{50} = 0.33 \text{ mg/L}$) > Zn^{2+} ($\text{EC}_{50} = 8.28 \text{ mg/L}$) > Cr^{6+} ($\text{EC}_{50} = 30.52 \text{ mg/L}$). In composite systems, Zn^{2+} - Cd^{2+} exhibited an additive effect, while Zn^{2+} - Cr^{6+} , Cd^{2+} - Cr^{6+} , and ternary systems showed significant antagonistic effects. Raman microspectroscopy revealed characteristic molecular vibrational differences in *Vibrio fischeri* under heavy metal stress, with increasing Cr^{6+} concentrations reducing the intensity of the phenylalanine breathing vibration peak (1003 cm^{-1}) and nucleic acid base vibration peak (1310 cm^{-1}), indicating protein conformational damage and potential oxidative stress-induced DNA strand breaks. PCA-LDA analysis confirmed that spectral features could effectively differentiate toxicity exposure groups. This study immobilized whole-cell biosensors within an agarose matrix, achieving a portable sensor design while maintaining cellular activity. By combining luminescence inhibition assays with Raman microspectroscopy, a method was provided for assessing heavy metal toxicity in complex environments.

B02-P04**贝壳基絮凝剂制备及其对赤潮藻作用机制的研究**林敏娟²、朱忆¹、朱玉龙³、彭佳²、陈耀阳¹、林凌*¹

1. 自然资源部第三海洋研究所

2. 福州大学

3. 上海海洋大学

近年来, 海域爆发的藻华事件呈现高水平趋势, 已逐渐发展为一种全球海洋灾害, 严重威胁社会经济发展和生态安全。絮凝是应用最广且高效的一种有害藻华治理方法, 但絮凝过程产生的高密度沉淀物若处置不当, 易引发底泥扰动导致藻类二次释放, 形成“控藻-释放”恶性循环。贝壳作为一种天然可再生资源,

其多孔结构及丰富的钙离子，能有效吸附藻细胞，是絮凝剂的理想基质之一。本研究以微纳尺寸贝壳片层为基质、硅烷偶联剂为桥连剂，在基质表面接枝纳米壳聚糖微球，辅以单宁酸固化微球，采用水热法制备获得了稳定的无机-有机杂化絮凝剂。该复合絮凝剂在淡水、海水中能够快速吸附微藻形成稳定絮凝体（10 min，去除率 $\geq 90\%$ ），絮凝前后藻液 pH 变化小于 0.2，浊度均小于 1，水体扰动下（50 rpm）絮凝体保持稳定。本研究制备的絮凝剂技术路线简单，反应条件温和，在预防赤潮方面极具应用价值，有助于促进海洋生态系统的恢复与保护。

B02-P05

基于电致变色技术的光热调控用于一体化建筑节能

丁一琳¹、梅哲跃²、刁训刚²、张如范^{*1}

1. 清华大学

2. 北京航空航天大学

目前，建筑能耗占全球总能耗的比例逐年攀升，在我国建筑物采暖和制冷所消耗的能源占据全国总能耗的 30% 以上。在保障室内环境舒适度的前提下实现有效的建筑节能已成为可持续发展的重要课题，也是实现“双碳”目标的关键技术之一。针对这一挑战，本研究基于电致变色材料和器件提出了一种高集成的综合智能节能系统，该系统结合了动态光热调节窗（DPRW）和选择性动态辐射冷却调节墙壁（SDRCR）。DPRW 能够独立调节太阳光透过率，其中可见光的调制幅度可达 $\sim 92\%$ ，近红外波段的调制幅度为 $\sim 82\%$ ；中红外发射率可实现高切换（ $\Delta \epsilon \sim 0.6$ ）。这使得搭载 DPRW 系统的室内温度比普通窗户低 $\sim 14^\circ\text{C}$ 。SDRCR 作为建筑的不透明部分，如墙壁屋顶等，可保证在大气透明窗（8-13 mm, 16-23 mm）内的选择性发射率调节（ $\Delta \epsilon_{\text{max}} = 0.6/0.64$ ），以进行建筑的动态热管理。SDRCR 实现了辐射制冷与辐射保温状态的切换，调节温度可达 $\sim 5^\circ\text{C}$ ，克服了传统的静态辐射制冷的局限性。SDRCR 同时可进行彩色化的定制，规避了传统白色辐射制冷建筑材料的美学缺陷。EnergyPlus 模拟计算表明，在炎热的气候条件下，搭载了 DPRW 和 SDRCR 的建筑系统，其年平均节能量可达 99.5 MJ/m²，其中冷却能耗减少约 80%。本研究首次将电致变色技术引入集成的建筑系统，并通过多波段光谱控制为智能建筑提供了一种新颖的解决方案，实现了能效、美学灵活性和环境适应性之间的平衡。

仅发表论文

生态胶粘石透水路面水稳定性评价方法研究

林志明*

福建省交通科研院有限公司

近年来，极端暴雨造成多个城市严重内涝，生态胶粘石透水路面因环保性好、透水率大、防滑降噪效果好、缓解热岛效应等特点，被寄予厚望。高温多雨地区，受动水冲刷影响，透水路面水稳定性受到关注，但相关评价方法尚无研究。本文从试验方法、试件尺寸、试验条件、评价指标选择、评价标准等方面开展研究，结论如下：生态胶粘石的水稳定性适合用二次冻融循环的冻融劈裂试验评价；从试验结果的变异性和重复性来看，试件直径宜为 100mm，厚度 50mm；评价指标为抗拉劈裂强度，评价标准为二次冻融循环后劈裂强度不小于 1.0MPa。