

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

**D29-多孔材料及应用**  
**D29-Porous Materials and Its**  
**Application**

**Organized by**

Chinese Materials Research Society

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

**D29. 多孔材料及应用**

分会主席：吴引江、丁轶、王红洁、仲兆祥、冯培忠、王建

最终交流类型：邀请报告

**碳基介孔材料的可控制备与应用**

彭亮\*

City University of Hong Kong

功能介孔碳材料是新兴起来的热门介观结构材料，其具有巨大应用潜力。这主要是因为介孔材料不仅具有一般介孔材料的性质，例如 2 - 50 nm 可调的孔径、大的孔容、高比表面积等，还具有自身独特的性质，如质轻、刚性的骨架、可调的导电性和化学活性等。使其在催化、储氢、分离和电化学等领域具有广阔的前景。至今，人们发展了多种方法来调控介孔材料的形貌与结构，包括喷涂、滴注、Stöber 法、胶体辅助组装、限域组装和固态反应等。然而，采用上述方法合成的介孔碳纳米材料的形貌和介观结构依然不能满足时代发展的需求。同时，对于介孔材料的合成机理的研究还不够深刻，应用研究也十分有限。因此，进一步开发一种简单易行的合成方法来构建功能性的介孔材料，对其合成机理进行深入研究，充分发挥其应用潜能，具有重要意义。基于这些需要，我们围绕新型介孔碳材料的开发合成、新颖形貌的设计、介观结构的调控以及骨架的功能化等方面开展了系统性研究。同时，针对性地研究了这些材料在光催化，海水脱盐等方面的应用。

最终交流类型：墙报

D29-P01

**金属气凝胶：可控制备与应用**

孙晓玥、杜然\*

北京理工大学

金属气凝胶(Metal aerogels, MAs)是一种完全由纳米结构金属组装而成的新型气凝胶，综合了金属在光、电、磁、催化等方面的优异物理化学性质与气凝胶大比表面积、多孔、自支撑等独特的结构特点，因而在近年中引起了研究者的极大兴趣。MAs 通常由溶胶-凝胶方法制备，该方法反应条件温和且利于组成/结构调控。然而，与经典凝胶体系的反应物性质与溶胶-凝胶原理的差异，以及设计原则模糊、高效合成策略缺失等挑战，严重制约了 MAs 的可控制备，进而阻碍了针对不同应用的高性能 MAs 定制。因此，我们发展了多种可控制备策略，包括特异性离子效应诱导凝胶化、扰动力场辅助凝胶化、冷冻-解冻辅助凝胶化以及过量还原剂诱导凝胶化等策略，构筑了一系列组成/结构可调的 MAs，丰富了其多样性。所得 MAs 在电催化、光电催化、表面增强拉曼散射、自驱动器件等诸多领域均表现出卓越性能。

最终交流类型：邀请报告

**一步-共烧结法制备具有类镜面的金属微滤膜材料**

杨坤\*

西北有色金属研究院

粉末烧结多孔金属材料具有优异的抗热震、耐腐蚀以及可焊接性能，是核工业、多晶硅以及冶金行业中过滤与分离环节的关键元器件。然而受粉末粒度和成形性等因素的限制，传统均一孔结构的多孔材料无法兼顾渗透性能与过滤精度，难以满足现代工业升级换代的需求。在此基础上，具有大通量、高精度的金属微滤膜材料成为上述行业在过滤与分离环节的最佳选择。但在金属微滤膜材料的制备过程中，需经两次高温烧结，第一次用于制备支撑体，第二次用于在支撑体表面制备精度控制膜层，显著增加了批量化生产

中的企业能耗和生产成本。

针对上述问题,本文提出了一种在不使用低熔点添加剂掺杂的情况下,通过一步共烧结制备具有类镜面的金属微滤膜材料的新方法。结果表明,在 1250°C 烧结 2h 后,微孔膜层与大孔支撑体之间结合紧密。细粉含量对膜层的完整性有显著影响,这是由于共烧结过程中的协同收缩所致。用新方法制备的不锈钢微滤膜的表面粗糙度和平均孔径分别为 178nm 和 2.1 $\mu$ m,为低成本、短流程制备金属膜材料提供了一种全新的工艺选择。

最终交流类型: 口头报告

### 多孔金属有机框架复合材料的结构设计及其电化学性能研究

董盼盼\*<sup>1,2</sup>、Xiahui Zhang<sup>2</sup>、Min-Kyu Song<sup>2</sup>

1. 西南交通大学 前沿科学研究院, 成都 610031

2. Washington State University, School of Mechanical and Materials Engineering, Pullman, WA 99164, USA

金属有机框架 (Metal-Organic Frameworks, MOFs) 作为一种新型多孔结晶材料,具有孔隙率大、活性位点多、结构易调控等优点,近年来在能源、催化、气体吸附与分离等领域得到广泛关注。本工作设计合成了不同种类的多孔 MOF (如 MOF-74、HKUST-1、MOF-5、UiO-66) 及其复合材料,并研究了多孔 MOF 基复合材料在高比能、高安全锂电池中的应用,如 MOF 基复合电解质与 MOF 修饰电池隔膜。首先,从分子层级调控多孔 MOF 的亚纳米孔道结构,并结合理论模拟与计算阐明 MOF 分子结构对其物化性能以及电化学性能的影响规律。通过调控金属中心和有机配体的种类,研制了兼具有高室温离子电导率(0.17 mS cm<sup>-1</sup>)与超宽电化学稳定性窗口(5.6 V)的 MOF 基电解质。此外,本工作提出了多孔 MOF 亚纳米结构的分子设计新策略,解耦了多孔 MOF 的分子结构和亚纳米尺寸对其电化学性能的影响机制。最后,该工作进一步拓展了多孔 MOF 材料的快离子导体特性,设计了锂化的棒状 MOF-74 作为聚合物电解质的活性填料,通过第一性原理计算研究了多孔 MOF 作为活性填料对离子输运行为的影响。本工作聚焦于多孔 MOF 材料的结构设计及其在电化学领域的应用基础研究,揭示 MOF 基复合材料结构与性能的构效关系,为新型多孔材料在电化学储能领域的应用提供了新思路。

最终交流类型: 墙报

D29-P02

### 定向凝固制备规则多孔材料的气孔形貌研究

陈禹冲<sup>1</sup>、金青林\*<sup>1</sup>、Lim Sugun<sup>2</sup>

1. 昆明理工大学材料科学与工程学院

2. 韩国庆尚国立大学

本研究使用金属-气体共晶定向凝固工艺制备了藕状多孔 Cu-Cr、Fe-Mn、Fe-Ni 合金,研究了金属表面张力、糊状区以及气孔周围晶粒的生长方式对合金孔隙率和气孔直径的影响。通过分子动力学模拟,计算了不同温度下, Cu-Cr、Fe-Mn 及 Fe-Ni 合金的表面张力,模拟结果显示, Cu、Fe 合金的气液表面张力均会随着合金元素的增加而下降。实验结果表明,在 Cu、Fe 合金凝固的过程中,合金元素 (Cr、Mn、Ni) 均会汇集在气孔周围处,随着气孔周围的合金元素含量增加,合金的表面张力减小,促进了气孔粗化。此外,气孔的形貌也受糊状区的宽度和气孔附近晶粒生长方式的影响。在 Cu-Cr 合金的定向凝固过程中随着 Cr 含量的增加,糊状区的宽度先增加后减小,进而导致孔隙率逐渐增大,气孔直径先增大后减小;在 Fe 合金的定向凝固过程中,合金元素的含量不会影响糊状区的宽度,但会改变糊状区晶粒的生长方式, Mn (Ni) 含量的增加会促进等轴晶的形成,导致合金的气孔率逐渐减小,随着 Mn 或 Ni 含量逐渐增加, Fe 合金的气孔直径逐渐减小或先增加后减小。

最终交流类型：口头报告

### Fe 对多孔 Co-Al-Fe 金属间化合物热爆反应及其过滤和高温腐蚀行为的影响

商智超<sup>1,2</sup>、冯培忠\*<sup>1</sup>

1. 中国矿业大学
2. 新南威尔士大学

多孔材料因其独特的性能和应用而引起了科学界的广泛关注。多孔材料可以由不同的材料组成，例如金属、陶瓷、聚合物和复合材料。其中，多孔金属因其强度高、导热性好、生物相容性优异等优异性能而受到广泛研究，但仍存在耐腐蚀性差等问题。多孔陶瓷材料具有优异的高温抗氧化性能和力学性能，但其存在脆性高、弹性低和抗热震性差等缺点，在二次循环过程中可能会造成损坏，给生产过程带来风险。本研究通过快速热爆反应一步合成了具有 3D 微观结构的高孔隙率多孔 Co-Al-Fe 金属间化合物。使用 3D-XRM 技术建立了孔隙结构和渗透率之间的联系。研究了不同 Fe 含量样品在 900°C、氧/硫气氛下长达 120 小时的耐腐蚀性能。结果表明，由于在产物骨架表面形成保护膜，使得样品的孔结构保持稳定，内部基体完整。

最终交流类型：口头报告

### 共价有机框架 (COFs) 介导制备贵金属纳米颗粒应用研究

陶娆、王成娇、杨焯鹏\*

昆明学院

由于独特的电子结构，钯等贵金属具有优秀的催化活性和选择性，在催化领域备受关注。为了提高贵金属的循环利用性能，负载型异相催化剂应运而生。由于构筑单元丰富、合成方法多样，有机多孔材料负载贵金属应用获得快速发展。其中，共价有机框架 (COFs) 由于结构高度有序、比表面积高、可设计性强等优点，是调控贵金属粒径尺寸和化学微环境的优选平台。本研究采用简单易行的悬浮浸渍法，以供电子三苯基膦为骨架单元的 Phos-COF 为载体，可控制备出粒径尺寸为  $1.62 \pm 0.37$  nm 的超细、窄尺寸分布钯纳米催化剂，并在卤代芳烃与苯硼酸的交叉偶联中优秀的催化活性和循环稳定性，Pd/Phos-COF 在对碘甲苯与苯硼酸的交叉偶联反应中 TOF 为 1648 h<sup>-1</sup>，5 次循环时的产率为 93%。在此基础上，该制备策略推广应用于以吸电子腈基为侧基的 cyano-COF 对钯的载体应用中，无需外加还原剂，介导制备出 (111) 晶面取向的钯纳米晶体，粒径尺寸为  $2.88 \pm 0.60$  nm，对 Suzuki-Miyaura 偶联反应表现出超高的催化活性和良好的循环稳定性在空气中，空气中室温下，Pd/cyano-COF 在对碘甲苯与苯硼酸的交叉偶联反应中 TOF 为 2578 h<sup>-1</sup>，化学选择性高于 99 %。上述研究表明在 COFs 载体中，配位基元的相对空间位置和供吸电子性质对钯纳米颗粒的生长行为、存在形态和催化活性影响显著。

最终交流类型：邀请报告

### 泡沫铝复合结构材料研发进展

祖国胤\*、黄鹏、苏喜喜、高强

东北大学

瞄准航空航天、轨道交通等国家战略领域对高性能多孔金属材料的重大需求，开展了以冶金结合界面及板材弯曲成形为核心的大规格泡沫铝夹心板材料制备技术与形性调控研究。通过包套轧制使芯层粉末获得极高致密度，同时实现了芯层粉末致密化及面板/芯层的有效初结合。创新性的将 FSW 技术应用于轧制发泡预制体的连接，揭示了 FSW 预制体粉末冶金发泡阶段泡孔演化及焊缝两侧芯层的界面熔合机理。通过对预制体进行模压弯曲，结合模具内受限发泡，实现了弯曲泡沫铝夹心板的可控制备。研究结果对推进泡沫金属复合化、功能化研发进程，实现材料战略产业示范应用具有积极意义。

最终交流类型：仅发表论文

D29-PO01

### 面向智慧医学的共价有机框架材料

郝青\*

东南大学

围绕智慧医学数据采集融合难点与痛点，依托新型智能共价有机框架材料的开发，我们研发了系列生物响应共价有机框架材料，应用于新型数据采集与分析方式开发，主要包括：

针对静息汗液数据采集与分析困难的问题，设计了具有汗液响应功能的智能框架材料，对皮肤静息汗液即可响应由黄色变为红色。该智能薄膜作为指纹数据采集模块，被创造性用于“基于材料的活体检测”新策略的建立，可以 100% 的准确率区分真人手指与无法泌汗的假指纹。同时，该智能薄膜在秒级接触人体皮肤时，可通过“汗孔拓印”采集局部汗孔的分布和静息泌汗行为数据，为临床研究和疾病诊断提供了一种新技术（*Nat. Commun.*, 2023, 14, 578; ZL202210650464.1）。

针对睡眠呼吸居家监测的需求，团队设计了具有呼吸响应功能的智能框架材料，对呼吸节律具有周期性的亚秒级响应。依托该材料，我们开发了包含数据采集手机 APP 的开放式口罩呼吸监测系统。该系统可由测试者完全自行操作，实时连续采集 8 小时的睡眠呼吸数据。同时，我们实现了对真实睡眠呼吸暂停病人的暂停行为监测和分级（*ACS Nano*, 2024, 18, 728）。

最终交流类型：邀请报告

### Quasi-static and dynamic compressive performance of aluminum foam phase change composites

Ningzhen Wang<sup>\*1</sup>, Ruyuan Yang<sup>1</sup>, Xiang Chen<sup>2</sup>

1. Beijing Forestry University

2. Tsinghua University

Aluminum foam exhibits remarkable energy absorption and impact resistant performance. The phase change composite materials obtained by filling paraffin into aluminum foams can be applied to the battery box to maintain the batteries at the appropriate temperature, with providing superior mechanical properties. This study investigated the mechanical properties of aluminum foam-paraffin phase change composite materials, conducting quasi-static compression and drop hammer experiments on aluminum foam with different porosities and composite materials with different filling parameters. The results indicate that paraffin enhances the mechanical properties of the aluminum foams. Under quasi-static conditions, the yield strength of phase change composites increased by 13% compared to aluminum foams, and the plateau stress increased by 4.8%. Under dynamic conditions, the yield strength and plateau stress of the phase change composites significantly increased with the foam density and impact velocity. The compression simulation was conducted using Abaqus, it was found that the simulation results matched well with the experiments. The research will promote the application of aluminum foam-paraffin phase change composite materials in the battery box of new energy vehicles.

最终交流类型：邀请报告

### 多孔金属的无容器制备技术探索

阮莹、魏炳波\*

西北工业大学

多孔金属作为一种新型的功能结构一体化材料,已被广泛应用于电催化、过滤分离、电极材料、吸声降噪和电磁屏蔽等领域。采用电沉积、电磁悬浮与超声悬浮技术制备了不同尺度的多孔金属材料,研究了过程参数对结构与性能的影响。多孔 Cu、多孔 Cu/Ni 和 Cu/ZnNi 复合材料以及多孔 Ni-W 和 Ni-Co 合金材料的电沉积制备过程中,通过控制沉积液浓度、电流密度、超声处理功率和热处理温度等参数有效提升了多孔金属材料的力学与腐蚀性能。在多孔 Cu、Cu-Sn 和 Ni-Cu 合金的电磁/超声悬浮技术研究中,通过改变合金成分、加热温度与悬浮时间,实现了对多孔材料孔隙特征的主动调控。在超声悬浮条件下实现了纳米 Au、Ag 和 Au-Ag 合金颗粒的无容器合成制备,合成的纳米颗粒相比于常规条件表现出更好的催化性能。基于优化的金属纳米颗粒无容器制备技术,合成了纳米多孔材料 ZIF8 和 ZIF-67,在超声悬浮条件下对其尺寸与特征进行了有效调控从而显著提高了多孔材料的吸附速率。

最终交流类型:邀请报告

### 泡沫镁的组织调控与表面陶瓷化研究

刘家安\*

吉林大学

泡沫镁是结构功能一体化的工程材料,具有轻质、能量吸收、阻尼减振、降噪吸声等特性,在航空航天、汽车制造、建筑建材、交通运输等领域有广泛的应用前景。为了提升其性能,本研究在微观组织调控的基础上采用微弧氧化技术,在开孔泡沫镁的表面原位生成陶瓷层,形成内韧外强的陶瓷层增强泡沫复合材料(复合泡沫)。观察微弧氧化陶瓷层的微观形貌和组织结构特征,研究陶瓷层在开孔泡沫表面的生长特性;研究陶瓷层对泡沫的压缩性能及能量吸收特性的影响规律,探讨复合泡沫在压缩载荷下的失效机理。结果表明,开孔泡沫的内外表面均能生成微弧氧化陶瓷层。微弧氧化陶瓷层可提高泡沫镁的压缩强度和能量吸收能力。微弧氧化后,复合泡沫在压缩载荷下的变形以局部变形带的形成和扩展为特征,变形带内孔棱表面微弧氧化陶瓷层的裂纹和破碎以及膜层/基体界面的脱粘可引起孔棱的屈曲、弯曲和断裂。

最终交流类型:邀请报告

### 烧结金属多孔膜材料开发及工业应用

刘高建<sup>\*1,2,3</sup>、李荣<sup>1,2</sup>、曹悦<sup>1,2</sup>、李学林<sup>1,2</sup>、王建桥<sup>1,2</sup>、李来平<sup>1,2</sup>

1. 过滤与分离技术国家地方联合工程研究中心
2. 西部宝德科技股份有限公司
3. 西安交通大学

与高分子多孔材料和陶瓷多孔材料相比,烧结金属多孔材料具有孔型稳定、材质广泛、可焊接、综合力学性能优异等优势,广泛应用于能源化工、航空航天、半导体等领域,具有净化分离、提质增效、传质布气/液、吸附缓蚀等功能。随着我国“双碳”战略目标的逐步推进及工业技术的不断提升,传统烧结金属多孔材料的应用效果难以满足不断涌现的新工业装置的需求,在此背景下,烧结金属多孔膜材料的开发和工业应用研究显得尤为重要。

西部宝德科技股份有限公司做为西北有色金属研究院控股的国家级高新技术企业,依托“金属多孔材料国家重点实验室”、“过滤与分离技术国家地方联合工程研究中心”以及“陕西省工业产品质量控制和技术评价实验室”开展了系列化烧结金属多孔膜材料的开发和应用研究工作。西部宝德所开发的烧结金属多孔膜材料材质涵盖不锈钢系列、镍及镍合金系列、钛及钛合金系列等,管式膜尺寸规格为  $\phi 1.8\sim 400\text{mm}$ ,一体化制备长度可达 2100mm,最小平均孔径可控制到 50nm,板式膜最大规格为 500×1500mm,最小厚度 0.1mm,此外,西部宝德成功开发了多种类型复合膜制备技术。

西部宝德开发的金属膜材料已在煤高效利用、多晶硅纯化、有色金属冶炼、精细化工等领域实现推广,近三年取得的经济效益超过 6 亿元。西部宝德期待与高等院校、科研机构及创新性企业开展科研合作,不断拓展烧结金属膜材料在电解水制氢、高效热管理、生物医药分离、高纯气/液体制备等领域的应用范围。

最终交流类型：口头报告

### 铝基多孔吸液芯制备方法研究

王建桥\*<sup>1,2</sup>、王昱<sup>1,2</sup>、李来平<sup>1,2</sup>、刘高建<sup>1,2</sup>

1. 过滤与分离技术国家地方联合工程研究中心
2. 西部宝德科技股份有限公司

向高功率密度和小型化发展的趋势对电子设备散热及轻量化提出了严峻的挑战，为了解决这一问题，铝基散热器因其成本低、重量轻、可靠性高成为一种很有前途的解决方案。吸液芯是均温器件内促进工质相变及输送，实现器件散热的关键部件，其毛细性能及渗透性能是避免均热板真空腔烧干，保证可靠、高效运行的重要指标。

本研究采用粉末冶金技术，对铝基多孔吸液芯的制备工艺进行了研究。通过系统筛选和优化铝烧结助剂，确定了一种增强铝粉烧结稳定性和多孔结构的助剂及其最佳添加比例，利用轧制-辅助烧结工艺去除铝粉表面氧化层，实现了铝基多孔吸液芯的粉末烧结成形，并通过烧结工艺的优化，制造出具有理想结构的铝基多孔吸液芯。实验结果表明，630°C烧结温度下，制备的铝基多孔吸液芯中铝粉具有最佳结合强度，其内部均匀分布三维网状结构，平均孔径约 30 $\mu\text{m}$ ，孔隙率约 35%；其毛细性能和渗透性能相对平衡，渗透率约  $3.06 \times 10^{-12} \text{m}^2$ ，工质爬升高度超过 35mm。烧结样品比同规格铜基吸液芯轻 52%，可有效实现铝基均温器件的轻量化制造。

本研究提供了一种有效且可控的铝基多孔吸液芯制备方法，为两相均温器件制造技术的发展提供了新的思路，对于推动电子设备散热技术的进步具有重要意义。

最终交流类型：口头报告

### 电沉积耦合增材制造方法制备多孔 Ni-Co 合金

杨鑫凤、阮莹\*

西北工业大学

多孔金属作为一种轻质、高性能和多功能的材料，已成为航空、航天、汽车、生物医药等领域的研究热点之一。在多孔金属的电沉积制备中引入增材制造方法实现对材料宏观结构的调控，采用电沉积方法在增材制造制备的聚合物基体上沉积 Ni-Co 合金，利用热处理工艺去除基体获得多孔 Ni-Co 合金。研究了合金的电沉积机理，通过控制沉积液浓度、电流密度、沉积温度、沉积时间和阴极转速等参数有效提升了多孔 Ni-Co 合金的沉积速率与整体均匀性。在改良瓦特镀液体系中的电沉积反应是多电子传递的不可逆过程且电极反应受扩散传质控制。阴极转速 60  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  时有助于改善多孔 Ni-Co 合金整体的均匀性和减少因氢气气泡附着、浓差极化等产生的缺陷。优化后的电沉积工艺参数为六水硫酸镍浓度 100  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、电流密度 1.6  $\text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$ 、沉积温度 40  $^{\circ}\text{C}$ 、沉积时间 2 h、阴极转速 60  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，在该实验条件下制备而成的合金材料均匀性良好。采用优化后的工艺参数制备 FCC、八面体和 Schwarz D 点阵结构的多孔 Ni-Co 合金，利用有限元方法结合准静态压缩实验分析了三种点阵结构的变形过程和力学性能以及能量吸收能力。

最终交流类型：仅发表论文

D29-PO02

### 烧结型高通量换热管的性能评价方法

王苗\*<sup>1,2</sup>、高冲<sup>1,2</sup>、刘高建<sup>1,2</sup>

1. 过滤与分离技术国家地方联合工程研究中心
2. 西部宝德科技股份有限公司

高通量换热管具备优异的传热性能、高临界热流密度以及良好的抗结垢能力，是重沸器、汽化器、冷

凝-蒸发器和海水淡化设备等装置用换热器的关键元件。管表面通常具有高密度孔隙连通的多孔层结构，不仅起到增加换热面积的作用，而且能够大幅度提高汽化核心数量，使换热管的沸腾传热能力得到显著提升。按照多孔层的加工方式，高通量换热管主要分为烧结型、机加工型和火焰喷涂型三类。其中，烧结型高通量换热管的多孔层形式主要有金属粉末多孔层、金属丝网多孔层和金属纤维多孔层。金属粉末多孔层是研究最早、应用最为广泛的多孔层结构。金属丝网多孔层和金属纤维多孔层的比表面积高、厚度易于调控、孔隙连通性好，因此也获得了一定的关注和研究。

多孔层的结构特性（主要包括多孔层的厚度、孔隙率和孔径）、多孔层与基管的结合性能以及应用特性（主要包括传热性能、抗垢性能和耐腐蚀性）是反映烧结型高通量换热管质量优劣的重要性能指标，准确地评价这些参数特性对多孔层的工艺优化以及换热管服役行为和使用寿命预估具有重要的指导意义。综述了烧结型高通量换热管的多孔层结构特性、多孔层与基管的结合性能以及应用特性的评价方法，讨论了这些方法的技术特点和适用性。最后，展望了烧结型高通量换热管性能评价方法未来的发展方向，为广大从事高通量换热元件研发、生产或检测的人员提供参考。

最终交流类型：口头报告

### 多孔金属材料结构优化设计研究

徐晨阳、王建\*、王建忠、杨坤、李广忠、高文彬、王昊、赵少阳

西北有色金属研究院

多孔金属材料结构优化设计是提高其传输性能的有效途径。利用微计算机断层扫描技术（Micro-CT）研究了商业烧结多孔钛的三维微观结构分布特征。然后，采用随机重建的方法实现了多孔材料三维模型的精准设计。此外，系统分析了多孔材料结构参数对孔隙形态特征和拓扑结构特征的影响规律。最后，采用微纳尺度方法研究了多孔材料孔隙结构对传输特性的影响机制。结果表明，大幅压缩厚度不仅能显著提高多孔材料的单相渗透率，且对于界面接触面积的影响较小。该工作为多孔金属材料的制备工艺提供理论依据，从而提高多孔金属材料的传输性能。

最终交流类型：邀请报告

### 粉冶多孔钨的研究现状与发展

秦明礼\*、吴昊阳、王杰、董宏月、曲选辉

北京科技大学新材料技术研究院

多孔钨是由钨骨架及其内部的高比例孔隙构成，兼具了难熔金属钨和多孔材料的优良特性，具有优异的耐高温、耐腐蚀、高比表面以及高渗透性等性能而被广泛的应用于航空、电子、高温等领域。近年来，随着民用航天、集成电路和微波器件等行业的迅猛发展，对多孔钨零件需求急剧增加的同时，也对多孔钨的形状和内部孔隙结构提出了更高的要求。

目前，多孔钨的主要应用是在金属钨本征特性的基础上利用了孔隙的连通、填充、储存和过滤等功能，孔隙作为多孔钨应用的关键结构，其特性直接影响了多孔钨的使用性能。如何实现多孔钨孔隙特性的稳定调控，已然成为限制多孔钨进一步发展的最大难题，同时也引起了研究者的广泛关注和深刻思考。基于此，本工作首先阐述了多孔钨孔隙特性在其主要应用中的关键作用，然后从粉末特性、成形方法、烧结工艺等方面对多孔钨孔隙特性的影响进行了研究，最后对未来多孔钨的研究方向和发展趋势提出了展望。

最终交流类型：邀请报告

### 3D 打印微点阵材料动态性能与力学设计

宋卫东\*

北京理工大学

微点阵结构材料因其超轻质、高比强/刚度、结构可设计性以及优异的缓冲吸能能力，受到了国内外学者的广泛关注。近年来，随着 3D 打印等先进制备技术的快速发展，为新型超轻质微点阵结构材料的制备提供了必要的技术支持。因而，开展 3D 打印微点阵结构材料的力学性能设计与表征具有重要的意义。本文以 3D 打印微点阵结构材料为研究对象，针对材料制备工艺-微观结构-宏观性能一体化开展了系统研究。首先对不同 3D 打印工艺打印的钛合金基体材料以及微点阵材料开展了试验研究，结合材料微观表征方法确定了制备工艺以及试样尺寸对材料力学性能的影响；考虑不同微观变形机制的微点阵材料，利用 X 射线断层扫描技术和三维细观有限元数值仿真，探讨了微点阵材料宏观性能的制备几何缺陷相关性，系统研究了钛合金微点阵材料的高温力学特性以及冲击失效机理；借鉴天然生物材料中梯度细观结构等特征，提出了微点阵材料密度梯度、胞元混杂、多层次结构等设计方法，并对不同冲击速度下新型微点阵结构材料的力学响应开展了实验与数值模拟研究，揭示了材料的宏细观失效机理。上述研究结果为 3D 打印微点阵材料的力学性能表征与细观优化设计具有一定的指导意义。

最终交流类型：口头报告

### 多孔吸附增强微型声学器件性能的机制研究

钱立华\*、陈劲  
华中科技大学

多孔材料孔道结构丰富，能与声波发生相互作用，通常是一种良好的吸声材料。经典多孔声学主要关注多孔材料气、固界面上黏性与热效应，而鲜有关注吸附、扩散效应。本工作关注微型扬声器系统后腔填充的分子筛对系统声学性能增强的现象，考虑声波微扰作用下对空气分子的吸脱附的促进，研究其本征增强机理。通过等效电路理论和热动力学理论，定量分析微型扬声器力顺与分子筛填充体积的线性关系，其斜率用于衡量力顺的本征增强能力，电阻抗测试也验证其斜率为  $1.92 \text{ mH}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。本研究不仅为研究多孔材料的气体吸脱附动力学、多孔材料与分子的微观作用机理提供了新颖的评价方法，而且为设计高品质多孔声学增强材料提供了可行的实验方案。

最终交流类型：口头报告

### CoMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/MnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (OV) 尖晶石纳米片异质结超电特性研究

张嫚\*  
台州学院

在电极材料中创建异质结构并协调空位缺陷是开发先进高性能储能材料的一种重要而有效的方法。在本项研究中，通过脱合金结合电化学沉积法，成功合成了一种具有氧空位缺陷的纳米片状尖晶石结构的 CoMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/MnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(OV) 三相异质结构混合物。这种材料具有优异的赝电容特性，在电流密度为  $2 \text{ mA}/\text{cm}^2$  时，面积比电容高达  $17,700.32 \text{ mF}/\text{cm}^2$ ；在电流密度为  $6 \text{ mA}/\text{cm}^2$  时，循环 5,000 圈后仍能保持 92.32% 比电容。在  $1.0 \text{ M KOH}$  电解液中，以 CoMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/MnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(OV) 为正极，还原氧化石墨烯 (rGO) 为负极，组装不对称超级电容器，其能量密度为  $81.56 \text{ Wh}/\text{cm}^2$ ，功率密度为  $639.93 \text{ W}/\text{cm}^3$ 。此外，DFT 模拟揭示了 CoMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (OV) 异质结构引发的内在电场，促进了离子的扩散和迁移。氧空位缺陷扩大了表面电荷的分布并改变了配位环境，从而显著提高了电荷转移的速率和数量，同时保持了异质结构内电荷转移路径的完整性。

最终交流类型：口头报告

### 低含量铂纳米粒子修饰微纳米孔 CuOx 松针叶电催化剂的热爆反应和脱合金化

郭玮佳、冯培忠\*

中国矿业大学材料与物理学院

实现高效稳定的析氢(HER)和析氧(OER)双功能电催化剂是可持续制氢领域的一个关键里程碑,但由于 HER/OER 中常用的 Pt、Ir 或 Ru 等资源的可用性有限,因此具有挑战性。铜基电催化剂具有成本低、环境友好等优点,但由于铜配合物对 H 的吸附脆弱和不稳定,在水裂解方面的研究较少。本文通过热爆反应和脱合金策略相结合的方法,合成了一种新型的低铂纳米颗粒修饰的微纳米孔 CuOx 松针叶复合材料 (Pt@MNPC)。双连续韧带/微纳米孔结构且具有针叶状的内表面,增强电子传递和电解质的可及性,进一步增加了对有效质量传递至关重要的活性位点和通道的暴露。此外,超小 Pt 纳米颗粒均匀分布在 CuOx 基体上,由于其固有的活性,进一步促进了催化活性。因此,优化后的 MNPC@Pt-10 对 HER 和 OER 都表现出了显著的性能,在 1M KOH 电解质中分别实现了 150 和 300 mV@10 mA cm<sup>-2</sup> 的低过电位。并且当应用于光催化降解甲基橙时,Pt@MNPC-10 在 5 分钟内达到了 81.71% 的降解效率。

最终交流类型: 口头报告

### 高长径比金属多孔毛细管的工业化制备及其应用

曹悦\*<sup>1,2,3</sup>、王妍<sup>1,2</sup>、王永刚<sup>1,2</sup>、刘高建<sup>1,2</sup>、李来平<sup>1,2</sup>

1. 过滤与分离技术国家地方联合工程中心
2. 西部宝德科技股份有限公司
3. 西北大学

烧结金属粉末多孔管因其优异的耐腐蚀性、抗氧化性、耐磨性,以及使用寿命长、可再生等特点,已在石油化工、能源、环保、食品、医药等行业的过滤分离、流体分布等功能领域得到广泛应用。近年来,随着能源化工、生物医药、半导体等领域更加精细化特种过滤分离需求的增加,传统的金属多孔过滤管产品已难以满足应用需求。

针对现有产品装填密度低、制备工艺复杂、渗透阻力高、分离精度偏低等问题,采用粉末冶金结合新型成型技术,开发出具有毫米级外径尺寸的高长径比金属多孔超细管。与现有同类型商业化产品的制备方法相比,该技术具有工艺流程简单、产品长度不受成型过程限制、自动化程度与生产效率高等优点,所建设产线在成型工序的生产效率可达 10~20m/min。目前开发出的金属多孔超细管产品以不锈钢、镍、铜等材质为主,外径尺寸在 1.5~5mm 范围内可调,单根元件长度大于 1m,平均孔径 1~3 $\mu$ m,透气度最高可达 100 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h·kpa),抗拉强度高于 200MPa,具有可弯折、可缠绕、高长径比等特点。产品可焊接成垫片式、集束式等各种形式的过滤器直接应用于微米、亚微米尺寸物质的过滤,也可作为多孔支撑体在表面制备沸石、MOFs、COFs、MXene 等各类材质的功能膜层进一步开发具有分子级分离精度的渗透汽化膜、气体分离膜、膜反应器等。

最终交流类型: 邀请报告

### 3D 墨水打印 Ti 基微晶格材料的控性控形

宋滨娜\*

苏州大学

3D 墨水打印是一种低成本,灵活和安全的增材制造方法,其中烧结过程是决定材料的组织性能与尺寸精准性的关键。本研究通过 3D 墨水打印设计并制备新型 Ti 基微晶格材料,系统研究其微观组织演变与烧结行为,结合仿真模拟进行预测和验证,为新型 Ti 基微晶格材料的基础研究和应用提供科学参考。

最终交流类型: 邀请报告

### Homogeneous age-hardening of large-sized Al-Sc foams via micro-alloying with Zr and Ti

Hui Wang\*

State Key Laboratory for Advanced Metals and Materials, University of Science and Technology Beijing, Beijing  
100083, China

Al-based foams have drawn increasing attention from industry due to their integration of structure and functional properties. However, large-sized Al-based foams still cannot be homogeneously strengthened by long-time aging due to their low thermal conductivity. In this study, we proposed an age-hardening approach that was applied in large-sized Al-0.16Sc-0.17Zr (wt.%) foams via micro-alloying with Zr and Ti compared with Al-0.21Sc foams; it not only achieved homogeneous strength by long-term aging but also reduced the cost of the alloy by substituting Zr and Ti for the more expensive Sc content. The results show that the Al<sub>3</sub>(Sc, Zr, Ti) phase with a core-shell structure as a crucial precipitation strengthening phase by micro-alloying with Zr and Ti was less prone to coarsening after a prolonged aging heat treatment. Therefore, the yielding strength of Al-Sc foam micro-alloying with Zr and Ti remained almost unchanged after a maximum aging time of 1440 h due to less coarsening precipitate, which is consistent with the results of mechanical experiments. These findings provide a new way for the heat treatment strengthening of large-sized Al-based foams, thus promoting their industrial applications.

最终交流类型：墙报  
D29-P03

### 内生气源粉末冶金制备泡沫镁合金的研究与探讨

杨东辉\*

河海大学

利用镁熔体与碳酸钙之间的液-固释气反应，发展了一种制备具有闭孔结构泡沫镁合金的内生气源粉末冶金法。以碳酸钙为发泡剂，镁粉和合金粉末为初始原料，经过混粉、冷压、合金化和热压处理制备出预制体。预制体在焙烧过程中形成镁合金泡沫熔体，随后，冷却泡沫熔体获得具有一定孔结构的泡沫镁合金。镁合金预制体在焙烧过程中能否形成泡沫熔体并一体化成形受诸多因素影响，本文就 4 个工艺因素，即合金元素，冷压方式，合金化温度与时长和热压方式，对镁合金预制体泡沫化的影响，在此基础上提出了内生气源粉末冶金实现泡沫镁合金制备原则。

最终交流类型：口头报告

### 多孔 WMoTaNb 难熔高熵合金的制备探索研究

张宝光\*、王建

西北有色金属研究院

金属多孔材料由于独特的孔结构而表现出结构材料和功能材料的综合性能，具有比强度高、减震降噪、散热隔热、电磁屏蔽和透气性良好等特点。因此，金属多孔材料被广泛应用于航空航天、石油化工、交通运输、机械工程和环境保护等领域。本文以 W、Mo、Ta、Nb 元素粉末为原料，采用粉末冶金技术制备了多孔 W<sub>mo</sub>Ta<sub>n</sub>Nb 难熔高熵合金。四种元素粉末的扩散系数具有显著差异，促进了烧结过程中的 Kirkendall 效应，从而获得较高的孔隙率(49.2~57.8%)。另外，在 2100°C 烧结过程中，原位合成了等原子比的 WMoTaNb 难熔高熵相，确定了粉末颗粒的合金化顺序为 Nb→Mo→Ta→W。本工作论证了用元素粉末冶金法制备多孔 W<sub>mo</sub>Ta<sub>n</sub>Nb 难熔高熵合金的可行性，为多组分多孔合金的进一步发展提供了有用的信息。

最终交流类型：口头报告

### 泡沫金属-聚四氟乙烯互穿相复合材料三维连续界面调控及其摩擦/热耦合作用机制研究

苏瑜洁、刘昊\*、于强亮、王云霞、阎逢元  
中国科学院兰州化学物理研究所 固体润滑国家重点实验室

互穿相复合材料由于空间结构上共连续的独特结构,具有密度小、导热性好、吸声及导电性好等优势。其中,以泡沫金属为骨架,聚合物为基体的互穿相复合材料由于可以综合二者的优势而在摩擦润滑领域受到广泛关注,但由于制备工艺难以控制,目前对泡沫金属-聚合物复合材料的研究有限。本文通过真空辅助乳液浸渍和自由烧结的方法制备了泡沫金属-聚四氟乙烯互穿相复合材料,采用 CT 分析、原位拉伸、聚焦离子束-扫描电镜(FIB-SEM)、红外热像仪等表征方式研究了泡沫金属的种类、结构参数、介质环境对复合材料微观结构、导热及摩擦磨损性能的影响。结果表明:泡沫镍具有较高的填充率和良好的摩擦学性能;在干摩擦条件,由于摩擦热的有效传递和承载能力的增强复合材料的摩擦学性能得到改善;而在模拟海水环境中,由于海水在材料中的扩散和金属骨架的腐蚀,其摩擦学性能减弱。三维镍骨架的加入能有效抑制了摩擦界面的热积累,且随着泡沫镍孔隙数的增加,复合材料的导热性和耐磨性显著提高。

最终交流类型: 口头报告

### **Two-step preparation and compressive properties of graded foams containing Al foam and aluminum matrix syntactic foam**

苏明明\*  
河北大学

Melt foaming method and stir casting method were combined to prepare graded foam. The interface between Al foam and syntactic foam formed a mechanical bonding. The compressive properties and failure processes of Al foam, syntactic foam and graded foam were compared. The stress-strain curve of graded foam was the same as that of Al foam at first, and then the stress gradually increased, keeping a similar trend as that of syntactic foam. Graded foam began to fail from the weaker Al foam, and then transferred to the syntactic foam. The failure processes of graded foam corresponded to those of Al foam and syntactic foam when they were compressed separately. The densification of Al foam was accompanied by the initial failure of syntactic foam within graded foam, which corresponded to the transitional zone in the stress-strain curve.

最终交流类型: 邀请报告

### **多级梯度多孔材料设计及结构功能一体化应用**

崔洪芝\*  
中国海洋大学

随着我国“海洋强国”战略及“双碳战略”目标的不断推进,合理利用海洋资源来缓解淡水及能源短缺危机已成为当下的重点研究工作。多孔材料具有孔隙率高,比表面积大,稳定性强,机械性能优良,以及形状可控等诸多优点,不仅能够满足多孔支撑体材料的优异结构性能要求,更能满足复杂服役环境下对材料多功能性的高要求。因此,本报告中针对海水淡化,废气吸附,以及污水净化等应用领域对材料的高效,高稳定性,以及长周期服役寿命的协同需求,采用激光加热法、热爆法、以及冷冻干燥技术等设计并制备了具有多级孔结构的 NiAl, TiAl 等多孔金属间化合物, TiC-TiB<sub>2</sub> 多孔陶瓷,以及具有仿生多级梯度孔结构的复合多孔气凝胶等,并对多孔支撑体的成分、孔结构及孔隙率等关键因素进行了设计调控,同时耦合 MXene, 水滑石,以及过渡金属硫化物等层状功能材料,对其进行成分及微观结构设计,采用层-层组装,真空浸渍,杂化交联等方法,构建了兼具结构性及功能性的多孔复合材料,并进一步采用材料表面微纳结构设计及低表面能改性的联合手段,实现了复合材料表面长效的疏水,防污,及除冰等多功能性。此外,借助断层扫描分析法及力学性能测试等对复合多孔材料的孔结构形成机制,力学性能增强机理及功能化应用机制进行了深入分析。

最终交流类型: 邀请报告

### 多孔材料活性炭及杂原子掺杂对钨炭催化剂性能的影响

李岳锋\*、闫江梅、王昭文、张鹏

西安凯立新材料股份有限公司

摘要: 活性炭有巨大的比表面积和较高吸附性能, 且具有良好的耐热性、耐酸性和耐碱性, 在催化领域经常被用作催化剂载体。活性炭的结构主要包括晶格结构、孔隙结构和化学结构。孔隙结构对活性炭的吸附性能起着主导的作用, 而化学结构对其催化性能起着重要的作用。使用不同的活性炭作为载体制备钨炭催化剂, 考察活性炭孔结构及杂原子掺杂对催化剂性能的影响。利用 N<sub>2</sub> 物理吸附、TEM、CO 脉冲化学吸附、XPS 等方法测定了活性炭结构和钨炭催化剂中金属钨的尺寸分布、分散度和化学状态, 结合钨炭催化剂在美罗培南和 2,3-二氯吡啶合成中的性能评价。结果表明: 活性炭载体的孔结构和化学结构对钨炭催化剂的催化性能有较大的影响。具有适当介孔结构和杂原子掺杂的活性炭载体能够使金属钨充分的分散, 并调控金属钨的化学状态, 从而制备出具有较高活性、选择性和稳定性的钨炭催化剂。

最终交流类型: 仅发表论文

D29-PO03

### Lightweight, Thermally Insulating, Fire-Proof Biomass-Montmorillonite Foam via Ambient-Drying

Tengyao Jiang\*, Yuxuan Xue

Innovation Center of Yangtze River Delta, Zhejiang University

Most of the traditional foam materials are made of petroleum derivatives, which is not conducive to environmental protection and resource conservation. The use of renewable biomass resources to prepare biomass-based foam materials has become a research hotspot. However, the large-scale manufacturing of biomass foam materials is currently limited due to the lack of effective and scalable methods. In this work, the biomass foam material with low density and low thermal conductivity was prepared by ambient-drying at the lowest cost. Through the cross linking of metal ions, MMT is successfully embedded into the foam material, which makes the Young's modulus of biomass-montmorillonite foam reach 3.93MPa and has good fire-proof properties. It can be manufactured on a large scale and widely used in the fields of building insulation and new energy vehicles.

最终交流类型: 仅发表论文

D29-PO04

### Preparation of Transparent Cellulose Aerogel by Freeze-drying Method

Tengyao Jiang\*, Yuxuan Xue

Innovation Center of Yangtze River Delta, Zhejiang University

At present, biomass materials with cellulose as a typical representative have attracted wide attention. As the most abundant natural renewable resources on the earth, biomass resources will become the inevitable choice for sustainable development in the future. Due to the brittleness and high cost of silicon aerogel, cellulose aerogel may become a substitute for silicon aerogel in building energy conservation and other fields. Transparent cellulose aerogel can not only meet the requirements of visual interaction, but also reduce building energy consumption. However, the preparation cost of transparent aerogels is still too high to be mass-produced. In this work, transparent cellulose aerogels were prepared by freeze-drying method. The preparation mechanism of different freeze-drying methods was studied. The final prepared aerogels can maintain more than 80% transmittance in the visible light range. The transparent cellulose aerogel prepared by this method can be manufactured in large scale,

which can be widely used in building energy saving, optical devices and other fields.

最终交流类型：墙报

D29-P04

### 多孔氧化铝载体及其催化应用

范嘉烜\*

西安凯立新材料股份有限公司

高温煅烧的氧化铝因其较强的抗压碎强度、可调的堆密度及丰富的孔道结构被广泛地用于工业催化剂载体。孔结构作为氧化铝载体一项重要参数，其大小和结构等不仅决定了活性组分的分散，还影响着反应物及产物分子的扩散、吸脱附等过程，对催化反应过程起到了重要的调控作用。在氧化铝载体成型过程中，通过造孔剂的引入，本文实现了对氧化铝孔道结构的调节。获得了具有孔径增大的氧化铝载体，并负载了 Pt 纳米颗粒。结果表明，孔径增大后有利 Pt 纳米颗粒的分散，并且诱导出较强的金属载体相互作用，使得 Pt 纳米颗粒的电子结构发生变化，从而增强了 Pt 催化剂催化脱氢的活性及选择性。

最终交流类型：口头报告

### 造孔剂粒径对多孔铜孔结构和力学性能的影响

何艳平、肖健\*

江西理工大学

本文研究了造孔剂粒径对多孔铜试样孔结构和力学性能的影响。采用球形尿素作造孔剂，体积含量在 10-80% 之间，造孔剂粒径大小分别是 1.7-2 mm 与 2-3 mm。使用单向压缩法对多孔铜进行力学性能测试，而结构上则使用扫描电镜进行表征。多孔铜孔隙率随造孔剂含量的增加而增加，随造孔剂粒径的增大而降低占多数。多孔铜的孔径随着粒径与造孔剂体积比的增大而增大，但当造孔剂体积比高达 80% 时，由于较小孔径的试样有更好的孔隙连通率致使粒径越小试样切面长轴约长。多孔铜试样力学性能随造孔剂含量的增加而降低，而造孔剂粒径对力学性能影响规律不太明显。此时需要借助扫描电镜观察试样孔壁变化研究粒径对力学性能的影响。结果表明，造孔剂体积含量对多孔铜孔结构和力学性能的影响比粒径对其影响更明显。

最终交流类型：口头报告

### PEM 电解水用多孔传输层材料综述

聂志宇\*、孙鹏

西安菲尔特

氢气是一种清洁、高效的绿色能源。随着氢燃料电池、氢储能、氢冶金等氢能产业应用的日渐成熟，人们对于绿氢的需求将持续增加。质子交换膜电解水（PEMWE）制氢技术由于具有与风、光电等可再生能源适配度高，制氢过程高效、无污染等优势而被视为最有前景的绿氢制取技术。多孔传输层是 PEM 电解槽的关键组件，多孔传输层材料的选择与性能对电解器件的效率和稳定性具有重要影响。本文通过对目前研究进展的深入综述，系统梳理了 PEM 电解水用多孔传输层材料的关键特性、制备方法以及在电解过程中的关键性能。最后，本文展望了未来 PEM 电解水技术中扩散层材料的发展趋势。在优化制备工艺、多孔结构调控等方面，仍有许多潜在的研究方向。

最终交流类型：口头报告

### PEM 电解水制氢用粉末烧结钛多孔传输层的开发

李学林<sup>1,2</sup>、刘高建<sup>1,2</sup>、王康磊<sup>1,2</sup>、王鑫<sup>1,2</sup>、方宇飞<sup>1,2</sup>、崔蓉蓉<sup>1,2</sup>、曹卜元<sup>1,2</sup>、李来平<sup>1,2</sup>

## 1. 过滤与分离技术国家地方联合工程研究中心

## 2. 西部宝德科技股份有限公司

氢能作为高效低碳的二次能源，具有来源广泛、清洁无污染、利用形式多样、与现有能源系统易兼容等特点，正逐步成为推动我国能源绿色低碳转型与实现“双碳”目标的重要载体。在众多制氢技术中，质子交换膜（PEM）电解水制氢具有高电流密度和高动态响应，是一种与可再生能源耦合制绿氢的理想技术。目前处于商业化应用初期，降低核心部件材料成本、提高电流密度是提升 PEM 电解水制氢技术竞争力的关键。

多孔传输层（PTL，也称气体扩散层）是 PEM 电解槽的重要组成部分，位于双极板和膜电极之间，兼具水、气和电子传输功能，并为膜电极提供机械支撑，通常由耐蚀性钛材料组成，以承受高电位、强酸、高湿度、富氧的苛刻条件。理想的 PTL 应当在不牺牲任何传输特性的情况下，最大化其与催化剂层之间的接触表面。因此，开发具有定制孔隙结构、良好表面特性的 PTL 对于提高 PEM 电解水制氢的能量转换效率至关重要。此外，从实用角度考虑，PTL 的尺寸和厚度应当易于调控，且孔隙结构可重复再现。

基于此，本文采用粉末冶金技术开发了表面平滑的超薄粉末烧结钛 PTL，并系统探究了物料组成和工艺参数对 PTL 孔隙结构的影响规律，制得的粉末烧结钛 PTL 厚度 $\leq 0.25$  mm、孔隙率 $\geq 50\%$ 、平均孔径 5~50  $\mu\text{m}$ ，在高效能、低成本 PEM 电解水制氢中具有重要的应用前景。

最终交流类型：邀请报告

**真空蒸馏-烧结法制备多孔钛的结构和性能特征**

罗洪杰\*、吴杰、徐仕伟、胡守燕

东北大学

多孔钛因其在净化处理、催化剂载体、热交换、生物材料、宇航和军事工业上的潜在应用而受到密切关注。然而，由于钛的熔点很高且在大气环境中表现出强烈的化学活性，采用熔体发泡法难以制备出多孔钛材料。本文以镁颗粒、镁粉作为空间占位剂，以钛粉为基体材料，采用粉末冶金路线制备多孔钛。具体制备工艺是将含有钛粉、镁粉、镁颗粒的混合料在压力机上压成预制品，然后在真空炉内进行蒸馏以去除预制品内镁颗粒和镁粉，经过进一步烧结后得到多孔钛。试验结果表明多孔钛的孔隙率在 35%~75% 之间，屈服强度为 22~126MPa，杨氏模量为 0.063~1.18 GPa。多孔钛的孔结构取决于镁占位剂的粒度和添加量，其中镁颗粒形成大孔，镁粉形成微孔并将孔洞连通。同时，镁粉的加入也有利于预制坯的成形和致密化。

最终交流类型：邀请报告

**Preparation of Porous Silicon Precursor Material Mg<sub>2</sub>Si and Structure Analysis**

Shouyan Hu, Hongjie Luo\*, Yuekun Yang, Yang Qu

Northeastern University

Porous silicon is widely concerned in electrode negative material for lithium-ion batteries and optical sensors for bio-detection due to its low density, high specific surface area, and unique physical and chemical properties. Vacuum sublimation dealloying method, it can also be called physical dealloying route, has been put into use for the advantages of simplicity and efficiency, no chemical reagents consumption and the recycle of by-product. Porous silicon was prepared by vacuum sublimation dealloying method with Mg<sub>2</sub>Si particles as precursor in this paper, and the Mg<sub>2</sub>Si was obtained by element blending method. Mg<sub>2</sub>Si was prepared using commercially available Mg block and Si powder as raw materials, weighed at stoichiometric ratio, and laid flat in a graphite crucible. In order to prevent large amounts of volatilization and oxidation of Mg, a layer of carbon paper with a small holes was laid on the top of the crucible in this paper and an argon environment was maintained. The temperature was increased from room temperature to 1050°C at a temperature increase rate of 10 °C/min and

maintained for 3 h. The Mg<sub>2</sub>Si particles were placed in a graphite crucible and in the vacuum container which was maintained around 14 Pa, the container was heated by a resistance furnace and temperature was set to rise up to 750°C at 10 °C/min, then holding for 1 hour. After the container was cooled to room temperature in argon environment, the samples were taken out and subsequent inspection was carried out. The results show that there are no residual Si as well as oxides in the sample and the yield of Mg<sub>2</sub>Si is 87.8%. HDBSD as well as EDS results indicate the presence of α-Mg, incipient Mg<sub>2</sub>Si, and eutectic phases in the samples, with the Mg<sub>2</sub>Si grains engulfing the surrounding small grains to grow up and coarsen, and distributing in a dendritic form in the α-Mg matrix. In addition, the eutectic formed in the material has an irregular morphology-typical for a faceted-nonfaceted eutectic. The results show that porous silicon is a brittle particle with cleavage plane. The pore structure is relatively complicated and the pore distribution appears unevenly. The shape of pores is polygon and the pore size are also different. BET and MIP results give that the porosity of porous silicon is 30.569% and the specific surface area is 3.612-3.963 m<sup>2</sup>•g<sup>-1</sup>.

最终交流类型：口头报告

### 双连续互穿铝基多孔复合材料的制备及力学性能增强

刘恩典、白玉、李嘉文、郝海\*

大连理工大学

本文采用熔体发泡和渗流铸造相结合的方法制备了双连续互穿多孔复合材料（泡沫铝/ZL111 合金）。分析了特征单元的准静态力学性能，结果表明，与单一结构相比，复合结构特征单元的力学性能有了很大提高。复合材料的抗压强度比单一组成的数学总和提高了 66%，平台应力提高了 204%。对复合结构的特征单元进行了 T6 热处理，发现热处理后的特征单元具有优异的力学性能。与热处理前相比，经 T6 热处理单元的比压缩强度、平台应力和能量吸收分别提高了 73.54%、107% 和 83.18%。结合微观组织分析可知，T6 热处理后共晶硅由原来的纤维状向等轴的片层状转变，虽然在一定程度上降低了材料的弹性模量，但是显著提升了材料的压缩强度和平台应力，从而提高了复合结构的能量吸收能力。研究结果显示，互穿多孔复合结构可以有效保留单一构成各自的优势从而展现出优异的能量吸收能力，对双连续互穿多孔金属（合金材料）结构进行适当的热处理是提高材料综合力学性能的有效手段。

最终交流类型：邀请报告

### 纳米线序构的弹性陶瓷气凝胶

苏磊\*

西安交通大学

陶瓷气凝胶兼具超低密度、超低热导率和高温稳定性，是热防护结构中最有潜力的高温隔热材料之一。传统陶瓷气凝胶是由脆性陶瓷纳米颗粒构成的，颗粒间仅靠缩颈实现联结，造成气凝胶脆性大、强度低，应用中易粉化，性能不稳定等问题。为了改善传统陶瓷气凝胶的力学性能，我们以柔而韧的硅基（碳化硅、氮化硅）陶瓷纳米线为基元构筑气凝胶，突破了陶瓷气凝胶脆性并实现其弹性，揭示了气凝胶中纳米线三维网络通过纳米线弹性屈曲与协同运动实现大变形、通过纳米线间相互搭约束变形和运动实现回弹的微观机制，阐明气凝胶中纳米线、气孔、纳米线间搭接结点等微观组织与其力学性能的构效关系，并提出了基于纳米线微观形貌和序构方式的调控策略，实现了弹性陶瓷气凝胶力学性能的优化提升，获得了具有压缩回弹、拉伸回弹、柔而强等系列力学性能的弹性陶瓷气凝胶。

最终交流类型：口头报告

### 3D 打印弹性 SiC 纳米线陶瓷气凝胶

郭鹏飞、苏磊、卢德、王红洁\*

西安交通大学

弹性陶瓷气凝胶是一种极具吸引力的材料，具有重量轻、导热系数低、可回复压缩性的特点，在隔热、催化、过滤和航空航天领域具有广阔的前景。然而，通过结构设计调控弹性陶瓷气凝胶的物理和力学性能，仍然是一个重大挑战。本研究通过 3D 打印碳纤维模板以及随后的原位 SiC 纳米线生长和自组装，创建了结构可控和力学性能可调的弹性 SiC 纳米线气凝胶。气凝胶晶格结构的杨氏模量实现了系统地调控：在 0.012 MPa 至 5.800 MPa 之间，跨越 2 个数量级。SiC 纳米线气凝胶还具有低导热系数 ( $0.046 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )。该研究为弹性陶瓷气凝胶的设计和快速制造提供了另一种方法，可望应用于柔性热管理装置、轻质工程结构和其他潜在应用。

最终交流类型：邀请报告

### U3Si2-Al 多孔弥散材料的制备及性能测试研究

皇泽中\*

中核北方核燃料元件有限公司

U3Si2-Al 多孔弥散材料，是一种在研究堆上应用很广泛的弥散型核燃料。采用金属铀与多晶硅经过感应熔炼和连续带筛球磨制备出 U3Si2 陶瓷粉末，并将其与铝粉按配比混合、制粒、成型、烧结后制备成 U3Si2-Al 多孔弥散材料。根据国内研究堆的设计需要，对不同配比的 U3Si2-Al 多孔弥散材料的热物理性能和力学性能进行了测试研究，同时比较了不同包壳材料的力学性能。

最终交流类型：墙报

D29-P05

### 树枝状纤维纳米二氧化硅复合粒子作为润滑添加剂的摩擦学性能

王倩杰<sup>1,2,3</sup>、王宏刚<sup>\*1,2,3</sup>、赵更锐<sup>1</sup>、任俊芳<sup>1</sup>、高贵<sup>1</sup>、杨生荣<sup>1,3</sup>、张俊彦<sup>1,2,3</sup>

1. 中国科学院兰州化学物理研究所材料磨损与防护科技重点实验室
2. 中国科学院大学材料科学与光电技术学院
3. 中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑国家重点实验室

本研究采用双连续微乳液聚合法和真空浸渍吸附离子液体法制备了一种新型树枝状纤维纳米二氧化硅 (DFNS) 固液复合润滑油添加剂 (DFNS@ILs)。通过透射电子显微镜 (TEM)、扫描电子显微镜 (SEM)、傅立叶变换红外光谱 (FT-IR) 和 X 射线衍射 (XRD) 等测试手段对其微观结构和化学成分进行了表征，结果表明，该材料具有优异的比表面积和孔径。之后研究了该多孔纳米复合材料作为润滑油添加剂的摩擦学性能，研究表明，与纯 PAO6 油、市售 ZDDP 和纳米二氧化硅相比，DFNS@ILs 添加剂具有最优异的摩擦学性能。此外，DFNS@ILs 作为润滑油添加剂具有长期稳定性。根据对磨损表面的分析，可以得出结论：DFNS@ILs 添加剂的优异性能得益于 DFNS 和 ILs 的协同润滑效果以及转移膜的形成，这使其成为一种很有前途的润滑材料。

最终交流类型：邀请报告

### 多孔碳化硅膜的孔径调控与分离性能研究

古其林\*、张菡、仲兆祥、邢卫红

南京工业大学

多孔碳化硅陶瓷膜具有优异的亲水性和抗污染性能，在污水处理、油水分离等领域具有较好的发展前景。低温原位反应烧结制备的 SiC 膜其孔径分布通常在微米或亚微米级范围，其渗透通量和分离精度有待进一步提高。为此，本文采用原位反应烧结法制备高通量 SiC 支撑体，通过调控膜层颗粒尺寸，优化膜层颗粒尺寸分布与支撑体孔径分布之间的匹配关系，创新喷涂工艺和烧结工艺，提出了两段共烧新工艺，实现了超亲水、窄孔径分布的多孔碳化硅陶瓷膜的制备。研究表明，烧结温度的升高有利于减小碳化硅

膜的孔径，这是由于碳化硅颗粒的表面氧化和体积膨胀所致。在温度为 25 °C、跨膜压为 0.5 bar、膜面流速为 0.5 m/s 的条件下，处理浓度为 100 ppm 的油水乳液时，碳化硅膜对油水乳液的截留率达 95.7%，渗透液中油浓度为 4.3 ppm，满足国家排放标准 (<10 ppm)。

最终交流类型：墙报

D29-P06

### 非对称润湿性 SiC 陶瓷膜的制备及其甘蔗汁澄清性能研究

张文康、梁政、古其林\*、仲兆祥、邢卫红

南京工业大学 化工学院，材料化学工程国家重点实验室，国家特种分离膜工程技术研究中心，南京，211816

甘蔗汁澄清是甘蔗制糖过程中的关键一环，其效果的好坏会直接影响到制糖的效率和糖的品质。膜分离技术因其具有良好的分离性能和较低的化学品消耗量在甘蔗汁澄清领域受到了广泛关注。然而，由于甘蔗汁成分在膜表面和膜孔上的吸附容易产生严重的膜污染，造成膜的渗透通量和截留率下降。本工作分别采用 1H, 1H, 2H, 2H-全氟辛基三氯硅烷和十六烷基三甲氧基硅烷对平均孔径为~1.2 μm 的管状 SiC 陶瓷膜进行了表面疏水改性，系统优化了改性液流速、壳层压力等参数对膜层表面性质的影响，并考察了具有不对称润湿性的 SiC 陶瓷膜在甘蔗汁澄清中的防污能力。研究表明，具有不对称润湿性的 SiC 陶瓷膜能有效澄清甘蔗汁，并展现出良好的抗污染能力。此外，使用 0.05 mol·L<sup>-1</sup> NaOH (aq)可成功地对受污染的膜进行再生，纯水通量恢复率达到 98.3%以上。

最终交流类型：邀请报告

### 气凝胶及其复合材料设计、制备与航天应用

师建军\*

航天材料及工艺研究所

气凝胶材料凭借其自身低密度、超低热导率、高比表面积、高孔隙率、功能可修饰等诸多特性，在催化、能源、化工分离、建筑保温、航天航空等领域有着十分广泛的应用。研究团队针对航天飞行器轻质、耐烧蚀、抗氧化、高温吸波等多功能需求，研究开发多种有机无机杂化气凝胶体系，面向航天应用需求，开展了气凝胶基复合材料结构设计与工程制备。通过对气凝胶基体的功能化修饰与微结构调控，实现新型超轻质多功能复合材料烧蚀、隔热、高温吸波、抗氧化等性能的调控。开发的轻质功能复合材料在深空探测、探月工程等航天飞行器热防护领域具有重大的应用前景，有力支撑了我国先进航天飞行器的发展。

最终交流类型：口头报告

### PEM 制氢用膜电极结构与电催化性能研究

闫爱玲\*、冯庆、杜珂

西安泰金新能科技股份有限公司

氢能是支撑起智能电网和可再生能源发电规模化的最佳能源载体。在多种电解水制氢技术中，质子交换膜电解水技术由于具备电流密度大、产氢纯度高、响应速度快等优势，吸引了科学界和工业界的广泛重视。由催化层和传输层构成的膜电极组件是质子交换膜电解水技术的关键核心部件，对于水电解制氢的性能、效率、寿命和成本起着关键性的作用。然而 35%的成本占比使低成本膜电极的生产开发迫在眉睫。因此，必须从降低成本和提高电催化性能方面对膜电极组件进行优化，以促进其产业化发展。

为了解决膜电极成本较高的问题，已有大量学者从催化组分设计、催化层及气体扩散层结构优化等方面开展研究并取得了一定的成果。本文首先介绍了一种低铱催化层的制备方法，通过高比表面积 TiB<sub>2</sub> 载体的引入，协同优化了阳极催化层传质、传荷和催化转化能力，在不牺牲电催化活性的同时将 Ir 载量降至商用膜电极载量的 38.2%。在此基础上，通过磁控溅射沉积技术结合前处理工艺制备了 Pt/Ti 多孔气体扩散层，涂层具有优良的导电性、化学与机械稳定性及抗腐蚀性能，有效降低了气体扩散层和催化层之间的

界面接触电阻。所制膜电极组件在 PEM 电解槽中表现出优异的催化性能(1.93 V @2.0 A cm<sup>-2</sup> @60°C, N117), 具有良好的耐久性和波动适应性。

最终交流类型: 口头报告

### **CdxZn1-xS/Sb-SnO2/TiO2 NTAs 复合电极的制备及光电催化性能研究**

武佳\*、冯庆、康轩齐、贾波  
西安泰金新能科技股份有限公司

TiO2 NTAs 高度有序的结构及其独特的几何、电子和光学特性使其在能源转化及污染物降解等领域受到青睐。然而其较大的禁带宽度(锐钛矿 Eg=3.2 eV; 金红石 Eg=3.0 eV) 使其只能利用太阳光中的紫外光(在太阳光谱中占 4~5%), 故而限制了其应用范围。此外, TiO2 本身为半导体, 导电性较差, 其弱的导电性同样也限制了它在光催化中的使用。研究表明, Sb-SnO2 具有良好的导电性, 广泛应用于导电器件及电催化氧化等领域, 而 CdxZn1-xS 固溶体中 Zn 的引入使其作为能带的参与者, 电荷载流子可以在连续的 CB 和 VB 之间移动, 增强了电荷与空穴的分离能力, 不仅能拓宽电极的可见光响应, 还能提升电极的催化性能。

基于以上研究思路, 联合微波法和水热法对 TiO2 NTAs 进行掺杂改性, 设计合成 CdxZn1-xS/Sb-SnO2/TiO2 NTAs 复合电极, 同时提升电极的导电性和可见光响应特性。SEM 与 EDS 结果证实了 Sb-SnO2 和 CdxZn1-xS 成功掺杂至 TiO2 NTAs 电极中, 且均匀生长在纳米管上。XRD 分析显示掺杂并未改变 TiO2 的晶型, 主要以(101)晶面为主。XPS 测试结果表明 Ti、Sn、Cd、Zn 分别以 Ti4+、Sn4+、Cd2+、Zn2+形式存在, Sb 有 Sb3+和 Sb5+两种价态, S 有 S2-和 SO42-两种存在形式。UV-Vis DRS 结果证实了改性后电极具有最小的禁带宽度和最好的光学吸收性能。I-V 测试和光电响应特性分析表明, 相比于单纯 CdxZn1-xS/TiO2 NTAs 电极, CdxZn1-xS/Sb-SnO2/TiO2 NTAs 电极的光电流分别增加了 31.7%和 13.7%, 其光电流值为 34.5 mA·cm-2, 光电转换效率为 15.7%, 平带电位为-0.32 V, 载流子浓度为 2.33×1020 cm-3, 电荷转移电阻为 21.04 Ω·cm-2, 空间电荷层电容分别为 5.77×10-5 F·cm-2。产氢测试结果显示, 其最大的产氢速率为 533.4 μmol·h-1·cm-2。综上分析, Sb-SnO2 掺杂有利于进一步提高电荷的传递过程及光电转换效率, 且三层复合结构更有利于光生电子-空穴对的分离, 从而提高催化效率。

最终交流类型: 口头报告

### **Mechanical characterization of elastic-porous metal rubber based on gradient lamination model and fractal theory**

Shaoliang Ge, Yuhan Wei, Xin Xue\*

Institute of Metal Rubber & Vibration Noise, School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University

As a novel porous material with high elasticity and large damping ability, elastic-porous metal rubber (EPMR) is considered as an ideal element for the flexible core layer of sandwich shell structure. The microstructure morphologies of typical EPMR in the axial and radial directions exhibit significant gradient characteristics, which have not been considered during the mechanical characterizations so far. In this work, the bidirectional density gradient lamination model of EPMR was developed based on fractal theory. The effect of heterogeneous pore distribution on the mechanical response of EPMR was investigated by means of experimental and numerical methods. The results indicate that the pore structure of EPMR presents axisymmetric positive and negative gradient distribution in the axial and radial direction, respectively. The proposed bidirectional density gradient lamination model can well capture the super-elastic deformation behaviors of EPMR subjected to compression loading, but there is still a prediction gap for hysteresis characteristics.

最终交流类型: 口头报告

### **原位环境下多孔材料的三维微观结构演变及其应用研究**

吴永宝\*

微旷科技（苏州）有限公司

多孔材料由于其独特的结构和优异的性能，在能源、环境、航空航天和生物医学等领域具有广泛的应用前景。然而，多孔材料在服役环境下的微观结构演变及其对性能的影响尚需深入研究。本研究基于计算机断层扫描（CT）技术，对多孔材料在服役环境中的三维无损表征进行了系统研究。通过 CT 技术与原位环境耦合技术，实现了多孔材料在服役环境中的三维原位表征。研究结果表明，高性能原位 X 射线 CT 技术能够实时监测多孔材料内部孔隙结构和缺陷的演变，为材料的服役行为提供了重要数据支持。通过这些研究，揭示了多孔材料在模拟服役环境下的微观结构变化规律。

最终交流类型：口头报告

### 搅拌浆结构对泡沫铝填充管孔结构的影响

许心沛、王佳成、崔李鹏、邱子轩、李泳、夏兴川\*、丁俭

河北工业大学

泡沫铝填充管（Composite aluminum foam tubes, CAFTs）和泡沫铝夹芯双管（Aluminum foam sandwich double tubes, AFSDTs）作为新型轻质复合结构件，具有出色的抗压缩性能和能量吸收能力，同时具备良好的耐蚀、隔声、隔热等功能性，是防撞结构、排水管等部件的理想选择，在交通运输、航空航天、建筑材料等领域有着广泛的应用前景。采用熔体发泡法一体化制备 CAFTs 和 AFSDTs 能够有效提高泡沫铝和铝管之间的结合强度、延长管材的使用寿命。搅拌工艺是一体化制备泡沫铝填充管的关键，其中搅拌浆的结构对增粘剂和发泡剂在铝熔体中的均匀分散起着至关重要的作用，并最终影响泡沫铝内部孔洞的结构和分布情况。因此，本论文设计了直桨式、下压式和斜翼式三种桨叶结构，并结合有限元模拟方法系统性分析了搅拌浆结构对铝熔体内溶质分布情况的影响，研究了搅拌浆结构对增粘剂和发泡剂在铝熔体内部分散的作用机理。随后，采用一体化成型技术制备了多组 CAFTs 和 AFSDTs 并对其内部孔隙率、孔径和孔洞分布等进行了整体和分区统计，进一步揭示了搅拌浆结构对 CAFTs 和 AFSDTs 内部孔洞分布、孔径梯度等关键因素的影响规律。通过一系列实验和模拟研究，本工作证实了搅拌浆桨叶结构对铝液流场的流速、流向和溶质分布有较大影响，具有轴向夹角且上下非对称的斜翼式搅拌浆运作时熔体径向流速梯度较小，流场中溶质扩散系数较高，能够实现增粘剂和发泡剂在铝熔体内部的均匀混合。同时，采用斜翼式搅拌浆制备的 CAFTs 和 AFSDTs 内部孔径差距小、孔洞分布较为均匀、底部无泡层薄，管材整体质量明显优于其他两种桨形制备的试样。本论文通过一系列模拟和实验研究，旨在揭示搅拌浆结构优化对于提升泡沫铝填充管整体性能的潜在价值和应用前景。

最终交流类型：墙报

D29-P07

### 多孔金属基高功率电容器设计及在交流线路滤波中的应用

马晓东、康建立\*

天津大学

随着电子产品向小型化和集成化方向的快速发展，传统的铝电解电容器（AEC）因其较大的体积和较低的容量等局限性，已不再适应柔性电子设备的发展。而超级电容器以其高比容量、快速的充放电能力以及较长的使用寿命，展现出替代 AEC 成为新一代滤波电容器的巨大潜力。然而，传统超级电容器的性能受到缓慢的离子迁移动力学的限制，难以在保持高频率响应、高容量密度的同时实现器件的小型化，这导致其在线路滤波电路中的实际应用尚未实现。为了克服这些挑战，本研究通过制备垂直取向的多孔金属镍@氧化镍为正极，碳纳米管阵列为负极的非对称电容器，平衡离子传输动力学与容量密度之间的矛盾。得益于多孔金属表面的赝电容特性和垂直互连的结构，电容器表现出出色的电化学性能，在 120 Hz 处相位角为 -81°，容量密度为 1300 uF/cm<sup>2</sup>，并且展现出极低的等效串联电阻(0.06Ω/cm<sup>2</sup>)和较高的电压窗口(1.2V)。

同时,对任意波形的交流电都可以转变为稳定的直流电,其中集成器件(3台串联)有较小的电压波动(40mV),比铝电解电容器小10倍。这项研究可应用在便携式与可穿戴设备中实现电子器件的小型化发展。

最终交流类型:口头报告

### 共价有机框架材料对金的光催化吸附

黄哲骋\*

东华理工大学

这项工作主要是用N,N,N',N'-四(4-醛基苯基)-1,4-苯二胺和二硫代乙酰胺反应生成ECUT-COF-29。该材料是一个噻唑基共价有机框架材料。在可见光的照射下,它能短时间将Au<sup>3+</sup>还原Au。对它的吸附量达到3714mg/g,表现出极大的回收金的潜力。随后对机理进行了一定程度的探究,计算表明,最高占据轨道主要是噻唑基团上两个碳原子贡献,最低占据轨道主要由苯并噻唑基团贡献。光照产生的光生电子从噻唑基的碳转移到噻唑基团的硫上面,而后将噻唑基团上S所吸附的Au<sup>3+</sup>还原为Au。

最终交流类型:邀请报告

### 超高强高隔热多孔高熵超高温陶瓷

褚衍辉\*

华南理工大学

开发兼具优异力学强度及隔热属性的多孔陶瓷材料一直是研究学者的追求目标。然而,这两种属性在一定程度上相互制约,对于传统的多孔陶瓷来说往往难以兼得。为此,我们提出通过多尺度结构设计,即通过利用超快速高温合成构造亚微米级超细孔、构建颗粒间的强界面以及引入9元金属阳离子严重晶格畸变,成功制备了兼具超强力学强度和高隔热的高熵多孔硼化物陶瓷材料。该材料在50%气孔率下,实现了337MPa的压缩强度以及0.76Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>的热导率。同时,该材料还展现出了2000°C高温稳定性,2000°C热处理后收缩率仅为2.4%。2000°C原位高温过程中出现塑性形变,伴随着材料的逐渐致密化,最终力学强度达到了690MPa。该多孔材料在航空航天、能源化工领域具有广阔的应用前景。

最终交流类型:邀请报告

### 耐高温气凝胶材料研发与应用报告

崔升\*

南京工业大学

气凝胶是由胶体粒子或高聚物分子相互聚结构成纳米多孔网络结构,所有孔的体积总和可占整个气凝胶体积的绝大多数,甚至99%以上。具有高比表面积、高空隙率等显著优势的结构特性对抗了热对流、热传导与热辐射,有效阻碍了热传递过程,被誉为迄今为止最完美的隔热材料,耐高温隔热领域也是气凝胶应用领域中最为宽泛且实现产业化应用的领域。然而,目前商用气凝胶产品仍集中在SiO<sub>2</sub>气凝胶,制备成本高且长时耐温停留在650°C,升温过程造成严重的孔结构坍塌与缺陷。鉴于此,依据现有耐高温需求,从气凝胶多孔结构入手,基于多尺度理论模型对气凝胶骨架基元进行构筑、基于表面价键理论对一体化材料结构进行设计、基于生产工艺和控制方法对低成本制备核心进行研究,所得系列气凝胶产物实现有氧耐温1650°C。以上研究成果为耐高温气凝胶材料在石油管道、新能源汽车、国防军工等领域应用提供理论和技术支撑。

最终交流类型:邀请报告

### 激光3D打印多孔钛合金及其作为双贯穿结构双金属复合材料支架的应用

熊义峰、万齐法、张法明\*

东南大学

抗冲击材料往往在阻尼、韧性、轻量化和强度方面存在着矛盾。本研究通过激光 3D 打印增材制造(AM)方法制备了多孔钛合金及其双金属贯穿结构,并探究了其力学行为。在保持样品孔隙率不变的情况下,通过改变单元尺寸和支柱厚度,采用了三组设计配置。结果表明,它们的力学性能随着不同的晶胞尺寸而变化。较大的晶胞尺寸和支柱厚度导致多孔钛合金的模量和强度较低。此外,我们还利用 3D 打印结合放电等离子烧结(SPS)技术制备了仿生 Ti-Al 互穿相复合材料(IPCs),并研究了应变率和温度对其动态冲击性能的影响。研究发现,IPCs 的动态响应表现出显著的应变率硬化和热软化效应的竞争特性。这些 IPC 具有优异的抗压强度和应变能吸收能力,这要归功于其复杂的双贯穿结构和界面结合机制。

最终交流类型: 墙报

D29-P08

### 粉煤灰基多孔玻璃新型材料的制备与成型

薛晓晨<sup>1,2</sup>、王银顺<sup>1,2</sup>、米亚策\*<sup>1,2,3,4</sup>

1. 内蒙古工业大学化工学院, 内蒙古呼和浩特市新城区爱民街 49 号, 呼和浩特, 010051

2. 内蒙古自治区煤基固废高效循环利用重点实验室, 呼和浩特, 010051

3. \*E-mail: miyacetx@163.com

4. 基金项目: 准格尔旗应用技术研究开发项目, 2023YY-03

粉煤灰是燃煤火力发电过程中各种有机和无机组分在 1200-1700°C 下燃烧后产生的工业固体废弃物。粉煤灰的成分复杂, 处理不当会造成水土污染, 引起生态破坏和环境危害。但全球能源需求的增长、煤炭的低成本以及自然资源替代品开发的不稳定性, 导致以煤炭为能源的比例仍居高不下。预计到 2035 年, 煤炭所占能源的比例仍将高达 24%。因此, 粉煤灰的无害化处理和综合利用是一个需要解决的全球环境和资源问题。目前, 中国粉煤灰的资源化利用率约为 45%, 主要涉及水泥、混凝土、筑路等建筑工程领域的粗放利用, 涉及沸石合成、微晶玻璃制备、地质聚合物合成、有价元素提取、复合微粉合成及陶瓷材料制备等高价值利用的比例不足 10%。对粉煤灰进行一定的工艺处理, 以高附加值产品为导向的开发是未来粉煤灰利用的发展方向。

多孔玻璃是利用特定组成玻璃的分相现象, 经过特定工艺处理而制得的一种具有无数连通孔道的玻璃。多孔玻璃被认为是一类具有多种潜在用途的新型材料。根据新思界产业研究中心发布的《2021-2025 年多孔玻璃行业深度市场调研及投资策略建议报告》显示, 多孔玻璃在产品开发、下游应用领域拓展方面有较大发展空间。本研究以粉煤灰(FA)作为基础原料, 制备得到了粉煤灰基多孔玻璃(Fly ash porous glass, FPG)新型材料, 并利用粉末压制成型工艺, 开发出相关产品, 进而拓宽了粉煤灰的应用领域。基于热致相分离机理, 通过调整组成和控制热处理工艺条件获得了不同孔径的粉煤灰多孔玻璃, FPG 表面与本体结构基本一致, 呈三维双连续贯通孔结构, 此外, 还具有孔径均一、可制备孔径范围大(0.2 $\mu\text{m}$ -50 $\mu\text{m}$ )、表面极为亲水(C.A.=0 $^\circ$ )且可修饰等优点。在下游的成型工艺中, 控制粉末粒径在 $\leq 40\mu\text{m}$  范围内, 压力为 3MPa, 热熔温度为 973K, 成功制备出多孔玻璃平板膜, 该膜材在分离领域具有广阔的应用前景。

最终交流类型: 口头报告

### 烧结多孔镍梯度毛细芯的制备及其性能研究

李燕、杜佳旭、刘忠军\*

西安石油大学

作为环路热管(LHP)核心部件, 多孔毛细芯的孔结构特征在一定程度上决定着 LHP 的综合性能。本研究通过调整镍粉粒径和造孔剂添加量, 成功制备了具有不同孔结构梯度的多孔镍毛细芯; 通过 XRD、SEM 以及红外热成像仪对梯度毛细芯的物相组成、微观结构以及抽吸性能进行了分析, 研究了烧结温度、造孔剂粒度、梯度结构对毛细芯孔隙率、孔结构形貌及吸液性能的影响。结果表明, 在造孔剂含量一定的情况下, 梯度镍毛细芯随着烧结温度的升高、造孔剂粒径的减小, 孔隙率、平均孔径和抽吸质量都呈下降

趋势；对比未添加造孔剂的梯度毛细芯，添加造孔剂的梯度毛细芯除了粉末颗粒间冶金形成的孔隙外，还伴随有预制孔形成，即毛细芯呈现双孔径梯度结构；通过改变梯度毛细芯中造孔剂的粒径和添加量，最终实现了对试样孔径大小和分布的有效调控。最后，为了综合分析孔径梯度变化对毛细芯及环路热管性能的影响，针对平板型功能梯度毛细芯及其环路热管基板结构进行了优化设计，组装了三种类型平板型环路热管，并对环路热管启动性能及换热效果进行了测试和表征，结果发现：沿工质流动方向孔径递增越明显的毛细芯，环路热管的启动性能越好，系统的起始运行温度越低，运行稳定性更好。

最终交流类型：闪报

### Preparation and properties of sintered porous nickel gradient capillary wick

Yan LI, Jiaxu DU, Zhongjun LIU\*

Xi'an Shiyou University

Capillary wick is the core component of loop heat pipe (LHP), and its pore structure determines the heat transfer performance of LHP. In this study, porous nickel (Ni) capillary wicks with gradient pore structure were successfully prepared by adjusting Ni particle sizes and the amount of pore-forming agent. The phase composition, microstructure, and capillary performance of gradient wicks were analyzed using XRD, SEM, and thermal infrared imager. The effects of sintering temperature, pore size, and gradient structure on the porosity, and suction performance of the capillary wick were investigated. The results indicate that as sintering temperature increases and pore size decreases, the porosity, average pore size and suction quality decrease for Ni capillary wicks. Compared with gradient capillary wicks without pore-forming agent, the wicks with pore-forming agents presents a double-pore gradient structure. Via altering particle size and the addition amount of pore-forming agent, the pore size and pore distributions of capillary wick were effectively controlled. Finally, in order to comprehensively analyze the influence of aperture gradient changes on the performance of capillary wick and LHP, the pore and assembly structure of capillary wick and flat plate LHP substrate were optimized. Three types of flat plate LHP were assembled, and the start-up performance and heat transfer effects of LHP were tested and characterized. The results showed that as the increase in pore size along the direction of the working fluid flow, the starting performance of LHP is getting better, and the initial operating temperature of the system is getting lower.

最终交流类型：邀请报告

### 硅基纳米线气凝胶及其多功能化

王红洁\*

西安交通大学材料学院

瓷气凝胶具有低密度、高气孔率、高比表面积、良好的抗氧化性能和热稳定性等，在高温隔热、催化剂载体、过滤和轻质结构材料等领域展现出广泛的应用前景。但是，传统陶瓷气凝胶基本都是由氧化物纳米颗粒构成，存在脆性大、性能不稳定和功能性单一等问题，极大地限制了其应用范围。本研究采用前驱体裂解结合化学气相反应，利用纳米线的原位生长及自组装，制备出可变形回复的 SiC 及 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 纳米线气凝胶。通过设计调控纳米线的组分、及其构筑形成的三维网络结构特征，获得具有不同力学性能（超轻超弹、高弹高比强），且兼具隔热、高效吸/透波性能的弹塑性陶瓷气凝胶。系统研究气凝胶在力/热/电磁波等作用下的响应特点及其结构性能变化规律，为高性能、多功能陶瓷纳米线气凝胶的设计制备提供理论指导和实验依据。

最终交流类型：口头报告

### 孔结构对电子束粉末床熔融多孔钽力学性能的影响

郭瑜\*

西安赛隆增材技术股份有限公司

采用电子束粉末床熔融技术制备菱形十二面体、G7 及简单立方 3 种孔结构的多孔钽支架。通过压缩试验、拉伸试验、三点弯曲试验及有限元模拟，研究孔结构对多孔钽支架变形行为和力学性能的影响。在压缩试验中，G7 和简单立方结构的多孔钽支架以杆筋的屈服变形为主，而菱形十二面体支架以弯曲变形为主，导致菱形十二面体多孔钽支架的压缩强度较低。另一方面，菱形十二面体多孔钽支架具有较好的拉伸性能和弯曲性能。在拉伸变形和弯曲变形中，菱形十二面体多孔钽支架的最大应力分布均匀，均匀的结构变形使得杆筋断裂延缓；而 G7 和简单立方结构多孔钽支架由于应力集中在横杆上，变形初期即出现杆筋断裂。因此，应根据不同的力学性能需求，合理选择电子束粉末床熔融多孔钽支架的孔结构。

最终交流类型：邀请报告

### 电子束选区熔化多孔金属支架在医疗领域的应用进展

向长淑\*

西安赛隆增材技术股份有限公司

电子束选区熔化技术具有能量利用率高、能量密度大、扫描速度快、成形应力低、真空成形洁净度高等特点，尤其适合多孔骨科植入物的低成本快速制造。本研究采用电子束选区熔化技术制备出钛合金、金属钽、锆钽合金的多孔金属支架，分析了不同材料多孔金属支架的孔结构特性及力学性能，介绍了其在医疗领域的典型应用案例。最后，讨论了电子束选区熔化多孔金属支架在医疗领域进一步应用推广面临的挑战和机遇。

最终交流类型：邀请报告

### 原位晶须增强多孔陶瓷的低温烧结制备及性能研究

花开慧\*

东莞理工学院

以建筑废弃物为主要原料，辅以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为补充铝源， $\text{AlF}_3$  为晶须催化剂， $\text{MoO}_3$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CeO}_2$  等为烧结助剂，活性炭及玉米淀粉等为造孔剂，综合采用原位晶须生成法、添加造孔剂法和真空冷冻干燥法等工艺制备原位莫来石-硼酸铝晶须增强的多孔陶瓷，详细研究了烧结助剂种类、含量、造孔剂含量、烧结温度、保温时间、成型工艺等对多孔陶瓷孔隙率、抗弯强度等的影响，并采用 XRD 与 SEM 分析表征了样品的物相组成与断面形貌。结果表明：烧结助剂种类、含量、烧结温度及成型工艺对晶须形貌和多孔陶瓷的性能的影响较大。当  $\text{AlF}_3$  添加量 12 wt%、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、活性炭添加均 2 wt%，烧成温度  $1100^\circ\text{C}$ 、保温时间 1 h，制备出的多孔陶瓷综合性能最佳，样品断面形貌中除具有莫来石晶须外，又引入一部分硼酸铝晶须，晶须分布均匀、细小，呈绒毛状，多孔陶瓷抗弯强度  $10.3\pm 0.5$  MPa，孔隙率  $92.3\pm 0.7\%$ ，体积密度  $0.93$  g.cm<sup>-3</sup>，导热系数  $0.06$  W.m K<sup>-1</sup>。

最终交流类型：邀请报告

### 金属纤维滤袋除尘器在工业窑炉高温烟气除尘领域的应用

李明\*

西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司

高温工况高效除尘长期以来是烟气除尘领域的难点问题，随着科技进步，金属纤维滤袋的开发推广，拓展了滤袋除尘器的应用。金属纤维滤袋除尘器可以在高温、高压、防爆等工况下实现烟气净化，后端尾气余热回收，节能减排，为实现“碳中和”贡献力量。

最终交流类型：口头报告

### 结构功能一体化硼钨铝核屏蔽材料制备及性能研究

陈咪\*

西安稀有金属材料研究院有限公司

清洁化、低碳化已成为全球能源发展主基调。核能作为一种高效率、低排放的清洁能源，成为世界能源向清洁低碳转型的重要选项。然而，核电站在运行过程中会产生中子及 $\gamma$ 射线，对周围环境和人类极具危害。因此，中子及 $\gamma$ 射线的屏蔽是我国核电工业必须解决的关键问题。随着空间堆、小型堆以及核潜艇的发展，传统屏蔽材料已难以满足其防护需求。针对现有核屏蔽材料的不足，本文采用粉末冶金工艺制备了一种结构功能一体化硼钨铝复合屏蔽材料，其中硼能够吸收热中子，钨能够屏蔽 $\gamma$ 射线。通过热轧及热处理调控硼钨铝复合屏蔽材料的微观组织，以获得力学性能的进一步提升。随后对其高温力学性能、焊接性能、屏蔽性能及耐辐照性能进行研究，结果表明，本文中所制备的复合屏蔽材料具有良好的综合力学性能及屏蔽性能，其推广有助于屏蔽结构的简化，可广泛应用于核电、核动力及空间辐射防护等领域中。

关键词：硼钨铝复合材料，粉末冶金，核屏蔽，性能

最终交流类型：墙报

D29-P09

### D2/H2 在 HY 分子筛上的同位素分离效应研究

宋雅琪、闫霞艳、郭彪、杨飞龙、向鑫、胡立、熊仁金、罗文华\*

中国工程物理研究院材料研究所

氢同位素的分离提纯对工业尤其核工业的发展至关重要，寻找高效的氢同位素分离技术或将成为实现核聚变清洁能源广泛应用的先决条件。目前常用的氢同位素分离方法有低温精馏(CD)、Girdler sulfide 法、热扩散法、置换色谱法、热循环吸附(TCAP)等，但大多存在高成本、高能耗和低效率的问题。近年来利用氢同位素气体(H<sub>2</sub>、D<sub>2</sub>及T<sub>2</sub>)在多孔材料(如沸石分子筛、MOFs、碳纳米管及共价有机骨架等)中的吸附性能的差异，实现氢同位素气体分离的研究受到广泛关注。其中，基于低温动力学量子筛分(Kinetic Quantum Sieving, KQS)效应的氢同位素分离方法是目前研究的前沿热点。

分子筛是一种结晶型的铝硅酸盐材料，其骨架通过SiO<sub>4</sub>和AlO<sub>4</sub>四面体构成具有孔径均匀的空孔道结构。Y型分子筛的晶胞结构如图1所示，由6个四元环和8个六元环组成，方钠石笼间由双六元环连接便会形成FAU结构。本课题组基于KQS效应原理，利用物理吸附仪、低温热脱附仪等设备对HY型分子筛，在多种条件下进行氢氘同位素分离性能研究。其结果显示，HY分子筛对D<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>(1:1)混合气体吸附量和吸附选择性受吸附压力和吸附时间影响较小，但对吸附温度非常敏感。HY分子筛在26 K吸附温度下能够同时获得较高的吸附量和吸附选择性，但随着吸附温度的升高，吸附量和吸附选择性均快速降低。

最终交流类型：邀请报告

### 异质形核-CVT 生长协同调控微纳钨粉结构及烧结性能增强机制研究

孙国栋\*、闫树欣

西安稀有金属材料研究院有限公司

微纳钨粉凭借粒度小、比表面积高和烧结活性优异等特性，在高性能细晶纳米结构钨材料组织结构设计、调控及性能提升方面展现出巨大的优势。本文提出了异质相和化学气相传输协同调控钨形核、生长和稳定性思路。以二氧化钨为钨源，通过在其周围构筑异质相纳米颗粒，利用异质相降低形核能(表面能)的特性调控钨形核数量、分布结构和稳定性；通过控制温度和气相成分等因素，调控二氧化钨的气相溶解反应、传输和钨颗粒沉积生长，将大粒度的二氧化钨转化为纳米级钨颗粒，实现了对钨粒度、均匀性、分散性和增强相等结构的调控，并揭示了异质相和气相传输对钨粒度、分散性和稳定性调控的机制。通过分析烧结样品致密度、晶粒及增强相结构和力学性能，揭示了粉体结构、烧结行为和力学性能关系。

最终交流类型：墙报

D29-P10

**废旧生物质棉纤维制备高性能碳基体及水性储能器件应用**邓小楠<sup>1</sup>、吴娟<sup>1</sup>、完玲中<sup>1</sup>、孙卉<sup>1</sup>、倪颖<sup>1</sup>、张颖朦\*<sup>2</sup>

1. 安徽省农业科学院经济作物研究所
2. 电子科技大学长三角研究院（湖州）

本研究利用天然生物质开发结构稳定、功能性强的新型高导电碳基体，可直接作为超级电容器的电极或者作为电极的载体材料。对天然生物质进行改性、活化，制备具有中空和多孔结构的管状碳纳米纤维，提高比表面积、活性位点和渗透性，从而保证电极材料电化学和结构的稳定性。如以废弃棉短绒为原料，通过优化尿素用量和活化温度构建了比表面积大（2492 m<sup>2</sup>/g）、孔隙结构丰富、含氮量适宜的多孔碳纳米纤维材料。由于其独特的孔隙结构、大的比表面积和合适的氮含量，制备的材料作为超级电容器电极表现出优异的电化学性能，具有较高的比容量和良好的循环稳定性。这种合成策略表明，利用生物质废弃物制备高价值电极材料是可行且具有前景的。

最终交流类型：墙报

D29-P11

**超低介电常数/介电损耗的 SF<sub>6</sub>-环氧泡沫绝缘材料及其形性调控**

张文爽\*

西安交通大学

近年来，轻质绝缘材料由于其具有低密度、低介电损耗、低介电常数等优点，在各种类型的复合绝缘设备的内部绝缘层中得到了广泛的应用，例如空心复合绝缘子和空心复合绝缘横担等，常用的内部填充材料包括环氧复合泡沫和环氧/微球基复合泡沫材料。本文首次提出采用超临界方法制备 SF<sub>6</sub>-环氧泡沫绝缘材料。通过调整其泡孔形态，可以调控材料的性能以满足特定要求。

本文采用超临界发泡法制备 SF<sub>6</sub>-环氧泡沫材料，使用超临界 SF<sub>6</sub> 作为物理发泡剂，通过快速泄压方法对环氧树脂进行间歇发泡，成功制备了均匀闭孔的 SF<sub>6</sub>-环氧树脂泡沫材料。泡孔尺寸可以通过四个参数来控制：预固化程度、溶解温度、溶解压力和溶解时间。实现了密度在 0.5~0.85g/cm<sup>3</sup> 范围内，孔径在 1.9~13.0μm 范围内，泡孔密度在 0.7×10<sup>10</sup>~1.5×10<sup>11</sup>/cm<sup>3</sup> 范围内，发泡倍率在 1.7~4 范围内泡沫材料制备。

通过调整工艺参数和环氧树脂基体的粘弹性，实现了泡孔形态和材料性能的精确控制。

与未发泡环氧树脂相比，SF<sub>6</sub>-环氧树脂泡沫材料的介电常数由 3.8 降低到 1.7，介电损耗由 0.01 降低至 0.0009。

最终交流类型：墙报

D29-P12

**采用增材制造的具有非周期单元的仿生晶格结构压缩行为**

李嘉文\*

大连理工大学

金属机械超材料是一种可以通过调整拓扑结构和材料来定制其性能的新型材料。受到天然软体动物壳中发现的交叉板层结构的启发，一种基于简单立方晶格所创建的非周期性晶格被提出。根据交叉层状结构的特点，我们提出了三种支柱的交叉方式，并结合基于传统的体心立方和面心立方结构所提出的两种支柱在细胞中的安置方案，最终六种具有交叉支柱的非周期性晶格结构（NPLCS）被设计出。我们采用选择性激光融化技术制备出基体材料为 Ti6Al4V 的样品，对六种晶格结构的准静态压缩过程进行了有限元仿真和试验，还采用渐进均匀化方法对材料的弹性各向异性进行了分析。结果表明，通过在整个结构（而不是一个单元胞）内布置相互交叉的支柱能够极大提升晶格结构的比性能。NPLCS 结构在提升强度的同时还能够延长弹性区域，延缓了拉伸主导机制的晶格常见的灾难性的坍塌，进而增强了破碎时整体结构的变形稳定性。

最终交流类型：口头报告

### 液态金属脱合金制备大块双连续纳米多孔 Ta-Ti 复合材料

张家琪、陈超\*、周科朝

中南大学粉末冶金研究院

钽-钛(Ta-Ti)合金结合了钛优异的力学性能和钽的骨结合能力,已成为一种很有前途的新一代承重植入物候选材料。为了提高与宿主组织的生物相容性,在承重植入物中引入高比表面积双连续纳米多孔结构是非常有潜力的。本研究工作利用激光粉末床熔融技术(LPBF)制备了全致密的 Ta-30Ti 合金,并采用液态金属脱合金(LMD)方法制备了具有三维双连续纳米多孔结构的均匀大块 Ta-Ti 复合材料,该方法将 Ta-Ti 合金浸在熔融金属铜浴中。研究了 Ta-Ti 前驱体合金与液铜复合材料的组织演化机理和脱合金动力学。合成的 Ta-Ti 复合材料结构的形态随脱合金时间的变化而变化。基于曲率驱动的表面平滑和瑞利不稳定控制的原子扩散过程,分析了 Ti 原子脱位过程中 Ta 韧带的粗化机理。

最终交流类型：墙报

D29-P13

### 光聚合法制备高疏油超亲水碳化硅陶瓷膜用于水包油乳液的分离

王子煜\*

南京工业大学

目前,水资源短缺已经成为全世界各国共同面对的难题,而在应对这一难题的对策中,废水的回收利用尤为重要,而在这其中又以含油废水的处理最为困难。而膜分离技术作为一种先进的分离技术,因其能源成本低、易于连续操作、占地面积小等显著的技术经济优势,在油水分离中得到了广泛的应用,而碳化硅膜以其强度高、硬度大、耐高温、耐腐蚀和耐冲刷的优势,更是在近年来成为研究的热点。但是,普通的碳化硅陶瓷膜在进行油水分离时会因为膜污染导致通量快速衰减,严重影响了过滤速率,为了提高膜的抗污染能力,通常人们会对陶瓷膜的表面进行改性处理。相较于传统的亲疏水性的改性,本工作采用 1H, 1H, 2H, 2H-全氟癸基丙烯酸酯对平均孔径为 1.2  $\mu\text{m}$  的片状 SiC 陶瓷膜进行了疏油改性,由于直接使用氟酯涂层会使膜表面呈现双疏性质,使膜的通量大幅减少,因此选择了甲基丙烯酸作为亲水性单体通过光固化与氟酯聚合来保持膜的通量,最终制备了在空气中的疏油超亲水碳化硅陶瓷膜。其在空气中的油接触角达到了 149°,改性膜在空气中的疏油性可以使陶瓷膜在过滤时省去水预湿的过程从而减缓膜的污染速率。

最终交流类型：邀请报告

### 相变传热多孔吸液芯结构加工及传热性能

张仕伟\*

华南理工大学

高功耗微电子器件所面临的狭小空间致命高热流密度散热难题,已经成为制约当今微电子工业发展的一大瓶颈。相变热控器件作为利用液态工质的相变过程来传输热量的高效传热元件,目前逐渐成为了现阶段微电子散热领域的主流选择,因此对其内部多孔吸液芯微纳功能结构设计、加工以及性能提出了更为苛刻的要求。报告主要介绍团队在利用犁切-挤压成形、激光加工以及化学刻蚀等技术进行多孔吸液芯功能结构加工及其表面形貌调控方面的研究工作,以及所开发的超薄、柔性、绝缘以及轻量化相变热控器件在高铁 IGBT、军事航天、新能源动力电池等领域的应用。

最终交流类型：邀请报告

### 泡沫铝多孔结构形成和性能调控的数字化预测

何思渊\*

泡沫铝具有与人体松质骨类似的多孔结构，其较随机的多孔结构存在大量力学薄弱结构，在载荷下易产生塑形变形，一方面造成了力学性质的随机性，另一方面带来了优异的阻尼效果。借助数字图像处理方法，研究获得了泡沫铝多孔结构的拓扑学和形态学参数。通过逐步线性回归方法探索了和弹性模量相关的孔结构参数，并建立了孔结构和泡沫铝弹性模量之间的数学关系，为泡沫铝材料性能精确调控奠定基础。为探索泡沫铝阻尼性质，建立了泡沫铝孔结构模型，并发现低载荷应力下孔结构的塑性变形是泡沫铝材料优异阻尼性质的来源。为预测多孔结构的形成机制，研究采用二维相场模型，模拟了熔体泡沫孔结构的演变，揭示了可降低表面张力的溶质元素对熔体泡沫液膜演变的影响，为建立熔体泡沫演变三维数学模型奠定基础。

最终交流类型：墙报

D29-P14

### Y 型分子筛对丙三醇粘度的物理调控机制研究

尹延超\*、冯坤、宋浩宇

山东省科学院菏泽分院

#### 1、引言

本研究在机械润滑领域创新性引入纳米固体 Y 型分子筛，提出一种物理稳定调控多羟基液体粘度的新方法。该方法可为环保型纳米固体抗磨添加剂的结构设计、多功能抗磨元素复合及应用领域具有重要的指导作用。

#### 2、材料与方法

在室温下，将一定量的 200nm NaY 或 USY 分子筛分别与一定量的丙三醇超声混合 3-4 小时，然后静置 16-24 小时，制备出所需的固-液混合样品。样品中丙三醇与 NaY 分子筛按质量比 ( $x=500, 750, 1000, 1250, 1500$ ) 进行混合，USY 与丙三醇按照同样的质量比混合，用  $z$  表示。然后通过流变仪、TEM、Raman 及  $1H-NMR$  对吸附体系的粘度及吸附作用进行表征分析，利用 Materials Studio 软件对吸附体系进行计算模拟。

#### 3、结果与讨论

通过表征，分子筛加入后混合物的粘度均较纯丙三醇的粘度低，其中 NaY 分子筛最大降粘率为 11.5%，USY 分子筛最大降粘率为 8.2%，均随着添加量的降低，混合物粘度呈现先降低后升高的现象。光谱分析与计算模拟结果表明，吸附的丙三醇分子与分子筛中的 O 元素同样通过分子间氢键相互作用，被吸附固定在分子筛内部孔道或者表面上，这种吸附作用使得被吸附分子的羟基 O...H 键长及 HO...O 键角变小，降低了表面被吸附分子与体相分子间形成氢键的能力，被吸附固定在孔道内部的分子可在润滑末期通过释放起到补充润滑的作用。通过表面与体相分子团簇间弱的氢键作用及电荷吸附作用为分子筛的均匀分散提供了一定的支撑作用，使得分子筛在体相中可将新形成的丙三醇分子团簇相互间隔开来进一步减少体相分子间氢键的作用，从而最大限度的提高纳米固体的物理降黏性能。

#### 4、结论

本研究创新性地催化用纳米分子筛材料引入高粘度丙三醇中，通过其孔道的毛细吸附作用及体相的稳定分散性能实现了对丙三醇分子间氢键的物理稳定调控作用，实现固-液混合物粘度的物理稳定降粘。跨领域地为机械润滑纳米固体抗磨添加剂的设计、制备研究提供了一种新的理论支持，并可实现对传统液相润滑添加剂的取代，以满足大型机械设备苛刻工况下的润滑需求。

#### 5、致谢

本工作得到了齐鲁工业大学（山东省科学院）人才科研项目基金（2023RCKY063）和山东省自然科学基金资助项目 ZR2022QE096 的支持。

最终交流类型：邀请报告

### SiC 气凝胶复合功能材料构筑及其界面调控

彭康\*、王红洁

西安交通大学

SiC 气凝胶由 SiC 纳米线三维网络结构构成，具有耐高温、高气孔率等优点，通过表面负载催化材料或孔间装载相变物质，进行功能化设计，可有效拓展其应用领域。本研究在 SiC 纳米线表面负载 MoS<sub>2</sub> 催化材料，用于电催化析氢，复合电催化材料过电位在电流密度在 10 mA·cm<sup>-2</sup> 时为 262 mV，Tafel 斜率为 54 mV·dec<sup>-1</sup>，且具有良好的稳定性。在气凝胶孔间装载有机相变物质，用于太阳能储热，与硬脂酸形成的复合材料的热导率为 0.5300 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>，相变潜热为 146.5 J·g<sup>-1</sup>。具有优良的储热和光热转化性能，界面调控后的复合材料保持良好的循环稳定性及可回收性。重点研究了纳米线三维网络结构的作用机制，复合功能材料的界面结构与调控，功能材料的赋存状态与功能特性。

最终交流类型：口头报告

### 乳液滴界面构筑新型功能介孔材料

马玉柱\*<sup>1</sup>、赵东元<sup>1,2</sup>

1. 内蒙古大学

2. 复旦大学

多室中空介孔纳米材料在催化、储能、生物等领域具有竞争潜力，但控制其腔室数和耦合多功能具有挑战。在此，我们提出了一种纳米液滴重塑策略，巧妙的利用乳液模板的可动态调控特性，在单液滴水平实现液滴的外凸、屈曲、融合和溶胀等，合成具有结构可调的分级多室介孔 SiO<sub>2</sub> 纳米颗粒。通过调控前驱体在乳液滴界面动态沉积，可以实现纳米颗粒的流线型生长，为构筑低阻力系数和定向运动可控的不对称介孔 SiO<sub>2</sub> 单腔纳米马达提供了平台。进一步改变溶液的极性可以实现纳米液滴的屈曲，从而精准调控纳米结构的凹凸程度，为探究不同曲率纳米反应器的空间限制效应与光-热催化性能之间的构效关系提高了基础。随后，采用纳米液滴二次溶胀策略，设计了多腔葫芦状介孔纳米颗粒，采用原位分区共组装策略，构建双功能纳米反应器。验证了多功能组分在不同空腔中的分离和定位，实现了多功能组分在不对称介孔纳米颗粒的不同空间位置独立装载时的稳定性同时避免了相互串扰。最近，我们提出了一种将各向异性介孔 SiO<sub>2</sub> 纳米颗粒组装成分支超结构的纳米液滴融合策略。通过添加钨纳米晶作为粘合剂与液滴界面处的 CTAB 分子相互作用，可以融合预先形成的纳米颗粒构筑 Y 形二聚体，并通过后续的顺序融合生长方式进一步将 Y 结构扩展到多级分支结构，构造了多分支纳米树。这些纳米树的分支生长模式完全符合 Wedderburn-Etherington 数模式，该工作为分支超结构的预测和精准调控提供了全新研究思路。这些经典案例为设计不同新型不对称多腔纳米结构提供独特的策略与广泛的见解，为拓展其在高效多功能协同催化等领域的应用提供理论与实验依据。

最终交流类型：口头报告

### 吡啶功能化多孔有机聚合物中的直接磷酸化有效捕铀

叶安妮\*

东华理工大学

核能是一种绿色、低碳、高效、可持续的能源。铀作为核电站的主要燃料，由于其放射性和化学毒性，已成为潜在的环境污染物。随着核工业的快速发展，放射性废物的不当处置将对自然环境和人类健康造成极大的危害。因此，在这一社会背景下，有效地从含铀废水中去除和回收铀至关重要。在这项工作中，我们展示了一种非常罕见的磷酸化聚合物 ECUT-POP-3P，它是将 ECUT-POP-3 直接简单的浸泡在磷酸中，通过静电和氢键的相互作用将磷酸基团直接锚定在我们的多孔材料中。结果表明，ECUT-POP-3P 对铀的超快吸附动力学可达 4min，对铀酰的超高吸附容量可达 1.66g/g，在铀提取中具有良好的应用前景。

最终交流类型：口头报告

### 利用智能 COF 光催化剂实现一锅法提取铀和生产有价值化学品的废水创新转化策略

郭烈成\*

东华理工大学

环境保护和资源回收使得从含铀废水中提取铀在核化学和工业中发挥着关键作用。虽然以往的研究已经揭示了几种有效的利用方法和材料，但很少有研究关注废水排放问题。事实上，将处理后的废水直接排放到环境中仍然不是一种绿色的方式。这里展示了一种创新的转化方法，它可以同时实现提铀和将废水转化为有价值的化学品。这一概念是通过偶氮苯-侧链共价有机骨架实现的，在空间和电子结构上都显示出智能的反式到顺式光响应特性，因此，相对于可见光照射，紫外光照射下的提取和转换效率大大提高。在实际废水中，该材料能选择性地 100% 地萃取铀和产生  $H_2O_2$  ( $1872.3 \mu\text{-1h}^{-1}$ )。其机理是由于铀还原反应(URR)和水氧化反应(WOR)之间独特的光催化耦合，前者旨在回收或去除铀，后者旨在将废水转化为有价值的  $H_2O_2$  化学物质。

最终交流类型：口头报告

### 碳化硅及碳气凝胶的力学性能调控

庄磊\*

华南理工大学

碳化硅和碳气凝胶具有气孔率高、密度低、高温稳定性好等一系列优异性能，在高温热防护、能源催化以及智能传感等方面具有广阔的应用前景。但其脆性问题限制了其实际应用。近年来，科研人员以纳米碳管、碳化硅纳米线等柔性纳米结构为基本组成单元，相继开发出了具有一定压缩回弹特性的碳化硅和碳气凝胶。但这些气凝胶的压缩强度普遍偏低，力学承载能力不足。提高气凝胶的力学压缩强度，实现其力学性能调控，是拓展其应用的重要前提。为此，本研究提出以单晶碳化硅纳米线为模板，利用化学气相法沉积异质多晶碳化硅和碳结构等手段调控其力学行为，并实现材料力学压缩强度的大幅提升。所开发的材料有望应用于高温隔热、过滤、催化等多领域。

最终交流类型：口头报告

### 气凝胶材料在新能源、工业、消费电子等领域的应用

杨浩\*

河南爱彼爱新材料有限公司

气凝胶是一种具有三维网络纳米空隙结构的多孔材料，是世界上最轻的固体，拥有 15 项打破吉尼斯世界纪录的性能，具有超低的导热系数，超高的孔隙率和比表面积，纳米级的孔径等，在热学、声学、光学、电学等领域均有广阔的应用前景。1931 年，人类第一次在实验室制备出气凝胶；20 世纪 90 年代，气凝胶开始在航空航天领域应用；21 世纪初，气凝胶材料在民用领域逐步展开应用；目前主要应用于新能源动力电池电芯间，防止电芯热扩散。

最新版的《电动汽车用动力蓄电池安全要求》征求意见稿，明确要求电动汽车用动力蓄电池在电池热失控后不能起火爆炸，这对电池本身及电芯热蔓延防护提出了更高要求，对气凝胶材料也提出了更高的隔热要求。本报告将展示爱彼爱和为动力电池热安全设计的一整套防护方案。

此外，还将展示气凝胶在工业、建筑、消费电子等领域的应用方案，并探讨爱彼爱和新型气凝胶材料的应用前景。

最终交流类型：口头报告

### 梯度泡沫铝结构的动态压缩性能研究

朱明芳<sup>1</sup>、王宁珍\*<sup>1</sup>、杨濡源<sup>1</sup>、张鹏<sup>2</sup>、陈念琪<sup>2</sup>、唐亮<sup>1</sup>、陈祥<sup>2</sup>

1. 北京林业大学工学院

2. 清华大学材料学院

梯度泡沫铝的密度沿厚度方向分级分布, 被发现具有优异的缓冲吸能特性。本文基于 Kelvin 十四面体结构, 建立了相对密度为 0.22 的均质泡沫铝和梯度系数分别为 0.08 和 -0.08 的梯度泡沫铝三维细观有限元模型, 进行了准静态压缩以及不同速度载荷下的动态压缩仿真模拟。结果表明, 在低速 (1m/s) 载荷下, 均质泡沫铝的平台应力为 12MPa, 密实化应变能为 6.9MJ/m<sup>3</sup>, 吸能性能优于梯度泡沫铝; 在中高速载荷下, 梯度泡沫铝的吸能性能优于均质泡沫铝, 且加载速度越高, 优势越明显, 加载速度为 100m/s 时, 系数为 0.08 的正梯度泡沫铝的平台应力为 18.55MPa, 密实化应变能为 11.86MJ/m<sup>3</sup>, 吸能性能优于负梯度结构。研究结果对梯度泡沫铝在动态载荷场景下应用时的结构优化有重要意义。

最终交流类型: 墙报

D29-P15

### 通过静电稳定胶体形成控制合成质子导电多孔有机聚合物凝胶

陈斌、顾成\*

四川大学

多孔有机聚合物 (POP) 因其结构多样性和预先设计的功能而引起了广泛关注。然而, 大多数 POP 都是以不溶性和不可加工的粉末形式合成的, 这极大地阻碍了它们的先进应用, 因为它们的质量传输有限且不适合设备集成。在此, 我们报告了一种通过阳离子稳定胶体形成机制控制合成宏观 POP 凝胶的策略, 该策略可广泛适用于各种四氨基/三氨基构建块, 用于合成 Tröger 的碱基连接的 POP 凝胶、气凝胶和离子凝胶。POP 凝胶结合了多级多孔结构和可定制机械刚度的综合优势, 同时它们可以负载大量的磷酸并构建畅通无阻的质子传导传输途径, 在零下温度下表现出前所未有的质子电导率。我们的策略为解决 POP 棘手的加工问题提供了一种新的解决方案, 可实现具有尖端性能的设备应用。

最终交流类型: 墙报

D29-P16

### 聚合物与金属有机框架杂化材料的制备及其应用研究

吴浩、谢正田、吴锦荣\*

四川大学

本研究通过新的合成途径探讨聚合物-MOF 杂化材料的研究和开发, 重点关注起始材料的选择和实用的、基于应用的研究目标。首先, 通过将 MOF 和聚乙二醇 (PEG)、聚乙烯醇 (PVA) 纳入交联复合材料的概念验证研究, 描述了一种通过原位合成后 MOF 交联的聚合物-MOF 杂交的新方法。该策略可以提高聚合物-MOF 杂化材料的稳定性和机械强度, 同时在高 MOF 负载率的情况下, 保持大部分原始的 MOF 孔隙率。通过各种 MOF-M 材料 (M = Al、Fe、Cu、Co、Ni、Zn) 和聚合物材料 (PEG、PVA、PVDF、PDMS、PP、PE) 杂化交联的研究, 证明了该策略的普适性和多功能性。

接下来, 通过构建的聚合物-MOF 杂化材料来研究 MOF 交联点的纳米限域作用对聚合物整体的宏观以及微观性能的影响。然后通过 MOF 对聚合物链的掩映效果, 从而实现在均匀的聚合物链上准确地定构设计嵌段成分。最后, 通过本文设计的聚合物-MOF 的杂化材料体系, 推广其在气体分离、聚合物升级回收以及锂离子电池涂层等方面的应用研究。这项研究不仅导致了令人兴奋的新材料的制造, 而且还探索了基础的物理化学本质, 扩大了聚合物-MOF 杂化材料的视野, 为未来新的功能材料开辟了道路