

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

D10-高分子材料
D10-Polymer Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D10.高分子材料**分会主席：蹇锡高、王玉忠、李光宪、徐坚****D10-01****氮杂环高性能工程塑料及其加工应用研发进展**

蹇锡高*

大连理工大学

D10-02**高低空飞行器用轻质高强多功能高分子材料和器件先进制造加工**

王 琪*

先进高分子材料全国重点实验室（四川大学），四川大学高分子研究所

低空经济是低空空域航空器飞行活动带动的综合性经济形态，是我国的战略新兴产业、未来产业和经济发展新引擎。低空经济的核心之一是研制先进的低空飞行器，如电动垂直起降飞行器（eVTOL），其特点是电池驱动、体积小、重量轻，飞行环境复杂，要求更轻、更强、更多功能、更安全、更环保、更高性价比，迫切需要大量轻质、高强、多功能的高分子复合材料，实现低空飞行器关键器件复杂结构和功能一体化制造。

本文报道了我们近年来建立的可用于低空飞行器的轻质、高强、多功能高分子材料和器件的先进制造加工技术：固相剪切碾磨加工技术，可规模化制备具有目标功能的高分子功能复合材料；低空飞行器关键部件轻量化制造加工技术，采用更多轻质易加工的高分子材料代替金属材料，通过智能化桁架结构和先进发泡技术实现高性能工程塑料及纤维增强复合材料的微孔发泡，微波选择性界面熔接增强；复杂高强结构-功能件 3D 打印一体化加工技术，制备机身结构件、电池、电子器件多功能保护外壳等；低空飞行器关键零部件精密加工技术，制备自润滑、低噪声传动件，高精度传感器，等。创新研制先进加工设备，建立先进加工平台，为研发先进的低空飞行器提供理论和技术支撑。。

D10-03**流场调控化学强化高分子合成与反应加工**

胡国华*

法国洛林大学/江西师范大学

D10-04**氨基苯基 POSS 交联聚酰亚胺功能薄膜研究**

张可姗 1、张栋淋 2、杨荣杰*1

1. 北京理工大学

2. 中国兵工学会

聚酰亚胺（PI）因其优异的热稳定性、力学强度与介电性能，已广泛应用于高端电子封装、柔性显示与 5G 通信等前沿领域。多面体低聚硅倍半氧烷（POSS）的有机-无机杂化的笼形结构，具有纳米尺度刚性骨架，有机官能团可设计性强。作为 POSS 家族中的代表结构，氨基苯基 POSS 不仅具备优异的热稳定性与结构刚性，其氨基官能团良好的反应活性，可与聚酰亚胺主链或侧链发生共价交联反应。对八苯基低聚硅倍半氧烷（OPS），通过调控 OPS 苯基的硝化-还原条件，可合成不同氨基官能度的氨基苯基 POSS，包括八氨基苯基 POSS（OAPS）和平均氨基苯基官能度在 3~7 范围的 POSS。将不同官能度的氨基苯基 POSS 应用于 PI 交联网络，初步揭示了 POSS 的氨基官能度对 PI 膜多性能的影响规律。

研究中设计了三个对比体系：无交联剂的 PI-Control 体系、1,3,5-三氨基苯氧基苯（TAB）交联体系、不同官能度氨基苯基 POSS 交联体系。反应单体选用 4,4'-（六氟异丙烯）二酞酸酐（6FDA）与 4,4'-二氨

基二苯醚 (ODA)，统一设定交联剂中氨基数量占总氨基数量的 5%。所得聚酰胺酸 (PAA) 前驱体以 N,N-二甲基乙酰胺 (DMAc) 为溶剂，采用流延法制膜，经热胶化获得 PI 薄膜。各样品以“PI-交联剂”命名，如 PI-OAPS、PI-3NH₂-OPS 等。采用多种分析表征方法，研究了氨基苯基 POSS 交联 PI 薄膜的分子结构、微观形貌和宏观性能。

研究表明，不同氨基苯基官能度 POSS 交联的 PI 薄膜，展现出各自的界面、热学、力学与介电等性能特征。低官能度的 3NH₂-OPS 交联 PI 薄膜，显著降低了介电常数 (2.44) 与介电损耗 (0.0024)，同时提升 LOI 至 58.6%，兼具优异的疏水性与耐湿性。中等官能度的 5NH₂-OPS 交联 PI 薄膜，获得最高的拉伸强度与模量 (139 MPa, 8.61 GPa)，展现良好的力学性能。高官能度的 8NH₂-OPS 交联 PI 薄膜，显著提高玻璃化转变温度 (T_g, 308.9 °C)、降低线性热膨胀系数 (CTE, 49.64 ppm/K)，同时保持较高的光学透明性。总结上述，不同官能度的氨基苯基 POSS 引入 PI 交联网络，可调控 PI 薄膜的性能，为高性能聚酰亚胺材料的设计与应用提供了理论依据与实践路径。

D10-05

数据驱动的高分子材料设计制备

林嘉平*

华东理工大学

先进高分子材料在航空、航天和民用领域发挥着越来越重要的作用。然而，传统试错法很难解决某些长期困扰材料设计制备的难题。科学研究已从实验观察、理论推演、计算模拟进入到基于人工智能 (AI) 的第四范式，基于 AI 的新研究范式已在生命、药学等领域取得重要进展。近年来，一个极具挑战的课题，就是将 AI 应用到材料领域。使材料研究手段发生变革，实现原始创新。

报告人及其团队针对高分子材料，通过收集数据，发展数字化方法，构建数据库。发展适用于高分子特点的机器学习方法，建立 AI 性能预测模型。建立了基于基因组合概念的结构设计新方法。运用新研究范式，设计制备了一系列新型高分子材料。例如，建立了环氧基体树脂的数据库，发展描述交联结构的描述符，基于高斯过程回归建立了环氧树脂力学性能的机器学习预测模型，在此基础上，设计出力学性能优异的树脂。此外，还进一步开展了基于生成式 AI 的反向设计工作。无色聚酰亚胺(CPI)在柔性显示等领域具有重要的应用。通过化学结构改性可制得 CPI，但是通常会牺牲材料的热性能、力学性能，使 CPI 的设计，极具挑战。结合强化学习和近端策略优化算法，构建具有结构生成和奖励机制的代理模型，可高效准确地生成特定 CPI 结构。无需遍历广阔的化学空间，通过生成和迭代优化，得到具有高透光率、低热膨胀系数的 CPI 新结构。

D10-06

聚烯烃链结构的理性设计与规模合成

陈忠仁*

南方科技大学

在 1930 年代，高温高压技术首次制备出高支化度的低密度聚乙烯 (LDPE)。1950 年代发明的 Ziegler-Natta 催化剂，通过控制链支化和分子量，规模合成了高密度聚乙烯 (HDPE)、线形低密度聚乙烯 (LLDPE) 和等规聚丙烯 (iPP)。1980 年代以茂金属催化剂为代表的单活性位点催化剂在立体选择性、分子量分布的控制以及活性聚合，展现了系列聚烯烃的优异性能。随后，链行走和链穿梭技术的出现，实现了对聚烯烃链结构的精细调控，规模合成了超支化、长支链以及多嵌段的高端聚烯烃。高分子材料设计应从高分子物理的基本原理出发——从链尺寸和拓扑结构设计到动态键工程，遵循“制备-加工-应用-循环”一体化策略，整合“性能优先、加工友好、循环友好”三大目标，通过“解缠高分子链”，解开围绕塑料污染的社会困局，实现真正可持续高分子材料的绿色理想。通过实验研究，我们“颠覆”一些公认结论，提出一些新的设计思想，拓展了高端聚烯烃的研究边界：(1) 发现分子量双峰分布比单峰分布具有更好的加工特性与力学性能；(2) 利用玻璃化转变温度 (T_g) 代替结晶作为物理交联，发展链穿梭技术，合成了性能卓越

的环烯烃嵌段共聚物弹性体;并进一步调控链段 T_g ,实现材料性能从高性能弹性体到工程塑料的转变;(3)应用可逆自由基接枝反应,增容 PE/iPP 共混物,实现了通用塑料的高效回收。此外,我们正利用“链减缠”思想,突破聚烯烃的研究极限,推进“加工友好”聚烯烃的规模合成;(4)利用单链负载催化剂原位合成低(无)缠结超高分子量聚乙烯;(5)通过可逆动态键方法合成低(无)缠结超高分子量聚烯烃。

D10-07

液晶基智能材料

杨槐*

北京大学

液晶是一类典型的智能材料,对电、光、热、磁和压力等外场刺激具有快速响应特性,在信息显示、智能调光、防伪和信息加密等领域具有广阔的应用前景。

为满足智能器件逐渐向质轻、价廉、尤其是柔性薄膜化的方向发展,人们发明了高分子分散液晶(PDLC)和高分子稳定液晶(PSLC)材料体系。前者力学性能优异,但驱动电压较高;后者电-光性能优异,但难以进行大面积柔性加工。

本研究团队利用柔性和刚性光聚合单体在液晶中反应速率的差异,通过二步光固化方法,构筑了兼具PDLC和PSLC的微结构、从而创立了兼具前者优异的大面积加工性能和后者优异的电-光特性的高分子分散与稳定液晶共存(PD&SLC)材料体系。在此基础上,通过液晶材料的分子设计,制备了胆甾相液晶、近晶A-胆甾相转变液晶、双频液晶等不同相结构和物性的液晶材料,并利用这些液晶材料制备了PD&SLC薄膜,从而开发出温控调光膜、温敏变色膜、温电双控调光膜、低驱动电压的正式/反式/双稳态电控调光膜等柔性薄膜。这些薄膜在建筑节能、汽车智能门窗、低温存储和冷链运输、显示器智能防窥、电子纸等领域具有广阔的应用前景。

同时,针对目前防伪材料广泛存在的功能单一、难以实现多重复杂防伪、尤其是难以实现动态信息加密等问题,研究团队通过液晶的分子设计,制备了多种可实现多重信息加密的液晶基防伪材料。

D10-08

网络结构柔性材料的高强韧化设计与功能智能化

谢续明*

清华大学

网络结构高分子材料,包括橡胶弹性体、热固性复合材料和凝胶材料,既是高分子材料的重要组成部分,也最好地体现了高分子材料长链的典型特性。如何调控高分子网络结构、深入理解网络结构和材料性能之间的关系,依然存在众多挑战,尤其是在今天网络结构高分子材料作为柔性功能材料大量应用于可穿戴电子器件中时。基于我们提出的多重键网络(Multi-bond network, MBN)策略,从水凝胶到弹性体,我们制备了一系列智能网络结构柔性材料,考察了它们的强韧性、导电性、响应性、自愈合性和透明性等,以及可作为可穿戴电子产品应用的可能性。

国家自然科学基金资助项目(项目号:51973103, 2202019)

参考文献:

- [1] Yujun Liu, Xu-Ming Xie; ACS Appl. Mater. Interfaces, 16, 24, 31555–31566 (2024)
- [2] Yuxi Li; Yujun Liu; Xu-Ming Xie; ACS Appl. Mater. Interfaces, 15: 30859-30869(2023)
- [3] Yuxi Li, Xu-Ming Xie; ACS Appl. Mater. Interfaces, , doi.org/10.1021/acsami.3c0602 (2023)
- [4] Yi Wei, Yuxi Li, Yujun Liu, Jianhui Yan and Xu-Ming Xie, ACS Appl. Mater. Interfaces, 15, 41031(2023)
- [5] Yuxi Li, Licheng Liu, Hao Xu, Zhihan Cheng, Jianhui Yan, and Xu-Ming Xie; ACS Appl. Mater. Interfaces, 14, 32541–32550(2022)
- [6] Yuxi. Li, Jianhui. Yan, Yujun. Liu and Xu-Ming Xie, ACS Nano, 16, 1567–1577(2022)测

D10-09**传统塑料生物降解创新技术——ABT 降解技术**

刘万辉*

格域新材料科技（江苏）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。

D10-10**高强高韧木质素基功能性网络**

高利龙*、翟禹豪、张冬冬、仲崇俊

青岛大学

发展生物质基功能高分子部分替代传统石油基高分子具有重要的研究和应用价值。然而基于生物质来源的小分子化合物所合成制备的高分子及其网络力学性能较低，难以同传统高分子竞争；同时功能单一。本研究使用木质素来源的厚朴酚和丁香酚生物质为小分子化合物，通过与异氰酸酯的加成反应以及硫-烯点击反应，制备了高强高韧，且具有多种功能的聚氨酯网络。（1）利用厚朴酚和氰酸酯的聚加成反应，以及硫-烯光点击反应，制备了高强高韧、形状记忆、紫外屏蔽的透明聚氨酯网络。其杨氏模量超过 1.6 GPa，拉伸强度超过 40 MPa，热分解温度超过 250°C，具有良好的形状记忆功能。同时能够有效屏蔽 400 nm 波长以下的紫外线。[1]（2）利用丁香酚和二异氰酸酯合成了小分子可点击二聚氨酯，使用三官能度硫醇单体，光点击聚合得到强度和韧性更高的聚氨酯网络，其中杨氏模量超过 4.2 GPa，拉伸强度最大为 135 MPa，断裂伸长率接近 400%。丁香酚基聚氨酯网络同样具有良好的形状记忆功能和紫外屏蔽性能，可将其制备成为抗紫外器件使用。[2]（3）通过丁香酚和甲醛及甲基烯丙基胺的反应，在丁香酚苯环上引入三级胺和可点击的烯丙基；随后利用引入的三级胺催化酚羟基和二异氰酸酯的加成反应，最后通过与四硫醇单体的光点击聚合，得到分子结构中含有三级胺的动态聚氨酯网络。[3] 所得高强高韧丁香酚基聚氨酯网络除了具有形状记忆和紫外屏蔽功能外，在热作用下还具有良好的自修复性能和重复加工能力，是一种新型的生物质基动态共价网络。

D10-11**高分子/石墨烯复合气凝胶用于高效太阳能海水淡化**

丁美春*

山东第一医科大学

淡水资源短缺已成为最严重的全球性问题之一。而海水占据了地球水总储量的 97.3%，所以海水淡化是解决水资源匮乏的有效方法，然而传统的海水淡化方式，能耗较高，设备复杂，成本也比较高。近年来，太阳能界面蒸发技术以其高效太阳能转换效率和低碳排放特性，在海水淡化领域引起了广泛关注。传统的

海水淡化技术每产生 1 立方淡水，伴随着 1.5 立方浓盐废水的产生。传统处理浓盐废水的方法主要是直接排放或者工业化方法处理，不仅破坏生态环境，还消耗了大量能源。而太阳能界面蒸发技术可以实现零液体排放及盐和水的完全分离，但是蒸发器表面的盐沉积遮挡了光的吸收，使蒸发性能降低。

针对以上挑战，我们提出了一种具有外部光热层和内部供水通道的仿生太阳能蒸发器。外部光热层可实现有效阳光吸收、快速蒸汽扩散及均匀表面盐结晶；内部供水通道则保障盐水高效输送并及时供应至结晶表面进行持续蒸发。该设计能够最大限度减少光热材料消耗，同时改善盐水输送效率，使蒸发器表面形成多孔盐晶体，从而实现从近饱和盐水中连续有效蒸发与盐收集。在 25 wt% 盐水条件下，展现出卓越的蒸发性能、高效的盐分收集能力、长期耐久性以及零液体排放脱盐特性，并且可实现 $3.50 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 的户外淡水产率。与传统太阳能蒸发器相比，我们的设计突破了稳定蒸发与盐积累之间的长期权衡，实现了在高浓度盐水条件下的高效稳定的脱盐和盐分收集。

D10-12

韩艳春

中国科学院长春应用化学研究所

偏光片作为新型显示的重要组成部分，有着广泛的应用前景，其质量直接影响显像效果。目前，聚乙烯醇（poly(vinyl alcohol), PVA）基碘系偏光膜占据着偏光片材料的主要市场。然而在溶液流延制备 PVA 基膜的过程中，由溶剂迁移以及聚合物凝聚态结构转变所引起的“皮-芯”结构降低了薄膜的物理性能，阻碍了高端显示的发展。基于此，我们围绕如何制备高均匀性 PVA 薄膜这一核心问题，通过调控 PVA 溶液成膜动力学过程来优化薄膜形态，建立“成膜动力学-薄膜形貌-宏观性能”的关联。

通过制备一系列不同初始浓度的 PVA 水溶液，我们发现初始浓度存在临界值：当 PVA 水溶液的初始浓度超过 18 wt% 时，干燥后的薄膜结构均一；而当溶液初始浓度低于该浓度时，薄膜横截面中出现“皮-芯”结构。[1] 在高初始浓度的溶液中，溶剂水分子与 PVA 分子链主要以多氢键或双氢键的形式键合，这缩短了干燥过程中的恒速干燥阶段，延长了减速干燥阶段，干燥过程由溶剂蒸发主导向溶质扩散主导转变。此外，由于高初始浓度的 PVA 溶液优先结晶，聚合物链向表面迁移的能力减弱，同样有利于在垂直方向上获得均匀的薄膜结构。

虽然提高溶液初始浓度能够抑制“皮-芯”结构，但高浓度 PVA 溶液的配制需要更高的温度和更长的溶解时间，同时随着浓度的提高，PVA 溶液的表观粘度急剧增加，给工业生产带来诸多不便。因此，我们向低初始浓度 PVA 溶液中添加尿素/二乙醇胺的复配型添加剂，[2] 当复配添加剂的含量超过 PVA 质量的 10% 时，干燥后的薄膜表面无气泡，横截面无“皮-芯”结构。一方面，二乙醇胺能够显著提高尿素在水中的溶解度，抑制了尿素从 PVA 溶液中析出。另一方面，二乙醇胺促进尿素上的伯胺基团与 PVA 分子链上的羟基形成更多的分子间氢键。在加入复配添加剂后，PVA 溶液中单氢键结合水分子的含量大大降低，PVA 溶液的整个干燥过程都由多氢键和双氢键结合水分子主导。此外，复配添加剂还改善了 PVA 基膜的力学、光学性能：当混合添加剂的含量为 PVA 质量的 20% 时，干燥薄膜的断裂应变变为 448.2%，在可见光范围内的平均透光率为 97.8%。

该研究不但为溶液成膜过程的原位监测提供了技术参考，还为 PVA 溶液的配方设计和高均匀性、高延展性及高透光率 PVA 薄膜的制备提供了理论指导。

主要参考文献：

[1] Yinghan Li, Xinhong Yu, Chang Liu,* and Yanchun Han*. Inhibition of the Skin-Core Structure in Poly(Vinyl Alcohol) Films by Increasing the Diffusion-Induced Dominated Drying Process. *Macromolecules*, 2023, 56(22): 9175–9188.

[2] Yinghan Li, Xuelei Liu, Dong Lv, Saiyin Hou, Xinhong Yu,* and Yanchun Han* Suppression of the Skin-Core Structure of Poly(vinyl alcohol) Films by Adding Urea/Diethanolamine to Improve the Mechanical and Optical Properties. *Macromolecules*, 2024, 57 (13): 6109-61227

D10-13

可控降解地膜制备及水稻旱直播机研发与应用

钟明强*

浙江工业大学

全生物降解地膜是替代传统农业种植用难降解聚乙烯膜，解决其对土壤环境污染，实现节水、保温保墒、防杂草，减少农药使用的重要途径，近几年发展迅速，需求量日益增长，尤其在水稻旱直播方面应用前景广阔。针对不同作物生长期和土壤环境要求差异，地膜降解的可控性成为其应用推广的难题。

项目设计了新型封闭型扩链剂，使 PBAT 可全生物降解复合地膜在加工过程中产生可控微交联，显著提高了地膜强度和水汽阻隔性；创新研究开发了高效复合紫外光吸收剂，使其能够均匀分散在地膜基体，与颜料分散相协同作用，显著提高了地膜的耐候性，实现了地膜可控降解，其崩解周期与水稻生长周期精确匹配，满足了旱稻机械直播铺膜、保温保墒控草及生长要求；创新设计了智能控制系统、起垄成型机构、取覆土机构、浇水机构和切膜机构，开发了智能水稻覆膜节水、抗旱播种一体机，实现了集中定位侧条施肥、同步浇水、激光切膜、精量播种；设计了水稻覆膜同步穴播穴灌旱直播机，解决了覆膜开孔旱直播过程中难以浇水的问题，实现了播种同步穴窝浇水，显著提高了水稻覆膜开孔直播出苗率，苗全、苗齐、苗壮；设计了水稻旱直播起垄播种装置及水稻旱直播机，形成标准垄型，垄顶、沟底平滑，水稻旱直播在沟内形成播种带并覆土，落种位置准确，覆土均匀，有效提高穿膜出苗率；采取独特的标准成型垄沟和独特的同步穴窝浇水，采用覆膜→播种→浇水→覆土的作业顺序，在覆膜、播种、浇水后，最后在地膜上面的种穴条带上再覆盖一层疏松土壤，起到压膜、保墒作用，使水稻出苗快、出苗齐，早生快发，长势好。研究表明，高强度耐候全生物降解地膜能够满足机械铺膜的要求，适应水稻生长周期要求，封行前保持完整实现保温保墒，封行后开始崩解降解；水稻覆生物降解地膜旱直播机集多项功能于一体，具有开沟起垄、成行成序，穴距可调，播种量可控，直播均匀，浇水、施肥、播种同步，出苗一致整齐等农机农艺融合的优点，比传统不覆膜人工直播省工省本，每亩降本增收 500 元以上，增产增效显著，且生物降解地膜降解完全，降解后对土壤和环境影响小，安全性高，不影响后续作物种植，为山地丘陵多旱地作物种植提供了新的技术方案，对加快我国水稻种植业发展、优化粮食结构、改善农业生态环境、实现农业提质增效，农民增产增收等具有重要粮食和水资源及环境意义。

项目获中国发明专利 7 件、中国实用新型专利 6 件、日本发明专利 2 件；主持制定《南方山地丘陵水稻旱直播全生物降解地膜覆盖栽培技术规范》(T/CAPAS 0201-2024)和《生物降解农用地膜降解情况评估方法》(CIEP-0052-2025)团体标准 2 件、《全生物降解旱直播水稻覆盖用农用地膜》(Q/BMF001-2024)和《旱直播覆膜系列播种机》(Q/JLM001-2022)企业标准 2 件，参与制定《塑料 农业和园艺地膜用降解材料 生物降解性能、生态毒性和成分控制的要求和试验方法》(GB/T 43288-2023)国家标准 1 件；发表学术论文 (ACS applied Materials, 2024, 6(10), 5988-6000) 1 篇。

D10-14

高韧性两性离子聚合物水凝胶的结构性能关系研究

郑司雨*

浙江工业大学

两性离子聚合物是一类重复单元中同时包含等量阴、阳离子型基团的高分子，基于其强水化和高电荷密度等特点，目前已经在抗污表面涂层、储能器件和柔性传感器件等诸多前沿领域获得广泛关注。然而，常规的两性离子聚合物水凝胶由于两性离子基团水化能力过强，水化之后聚合物链之间的作用力较弱、能量耗散能力微弱，因而存在力学性能不足、在盐环境中性能不稳定等缺点，极大限制了两性离子聚合物水凝胶在承力结构和复杂环境中的应用。在此，本工作从两性离子型烯类单体的结构设计出发，通过调控两性离子聚合物链间相互作用力，结合相分离、缠结结构、金属离子交联结构、枝晶复合结构等一系列网络结构设计，构建了一系列高韧性两性离子聚合物水凝胶，揭示了相关增韧机制，并探索其功能应用。

D10-15**形状记忆嵌段聚酰亚胺气凝胶**

张旭*

江南大学

形状记忆聚酰亚胺气凝胶兼具超低密度、高响应温度、优异耐候性等特性，可有效满足航天领域对超轻质智能材料的需求。通常形状记忆聚合物材料内需要有记忆初始形状和储存内应力的固定相以及固定临时形状和形状恢复的可逆相，因此需要对聚酰亚胺分子结构进行有效调控，使聚酰亚胺分子链既具备一定的运动能力又具有足够的物理和/或化学交联位点，从而同时满足形状记忆性能和气凝胶成型性的要求。本研究通过嵌段共聚方法设计制备了具有可调软硬链段长度的嵌段聚酰亚胺，获得了具有优异形状记忆性能的嵌段聚酰亚胺气凝胶：利用嵌段聚酰亚胺软硬链段长度来调控固定相和可逆相的分布，并通过原子力显微镜观察证实了固定相和可逆相的形成与调控；基于形状回复力、形状固定率和形状回复率以及在循环过程中吸收和释放能量的研究，系统并深入的探讨了形状记忆性能与固定相和可逆相分布之间的关系规律。研究表明，增加固定相的比例能够提升体系的能量存储能力，而能量释放效率主要取决于固定相和可逆相的空间分布；当固定相和可逆相呈现双连续网络分布时，能够确保回复过程中应力的连贯传导，从而有效减少能量损失，优化形状记忆性能。所制备的形状记忆嵌段聚酰亚胺气凝胶的形状固定率和回复率在 5 次形状记忆循环中均超过 99%，可在 4 秒内实现快速且接近完全 (> 99%) 的形状回复。

D10-16**聚硅氧烷低温弹性功能材料的制备与功能研究**

贺剑云、白晨曦*

中国科学院长春应用化学研究所

随着人类对极端环境探索的不断深入，开发低温弹性功能材料已成为研究热点。在众多聚合物材料中，聚硅氧烷因其独特的分子链柔性被视为制备低温弹性材料的理想候选。然而，这种高度柔性的分子链结构犹如双刃剑：一方面赋予材料极低的玻璃化转变温度 (T_g)，另一方面却导致分子链在 T_g 前易发生低温结晶，从而影响其低温性能。更为复杂的是，面向太空探索和极地应用等特殊场景，弹性体材料不仅需要具备优异的耐低温性能，还需兼具耐辐射、耐溶剂/油等多重功能特性，这就要求将多种环硅氧烷链节整合到同一分子链中，以开发综合性能更优的聚硅氧烷功能弹性体。遗憾的是，由于不同环硅氧烷单体在环张力、取代基诱导效应和位阻效应等方面存在显著差异，实现多种环硅氧烷单体的可控共聚合一直面临重大挑战。针对上述问题，本研究从聚合改性和后功能化两个维度展开系统研究，成功开发了一系列性能优异的聚硅氧烷基低温弹性功能材料。主要研究成果包括：

在后功能化方面，通过精确调控聚硅氧烷的支链乙烯含量，并利用高效的巯基-烯点击化学反应，在分子侧链分别引入柔性烷基和极性酯基。由此制备的材料不仅 T_g 低于 $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，且完全避免了低温结晶现象，展现出卓越的强度和韧性。特别值得一提的是，含极性酯基的聚硅氧烷兼具优异的耐低温和耐溶剂/油性能，其溶胀率显著低于市售耐油橡胶产品。此外，基于硅烷平衡机理，该材料还表现出独特的动态重塑和焊接特性。

在聚合方法学方面，创新性地提出了基于大分子链交换反应的多硅氧烷链节组装新策略，开创了硅氧烷平衡机理在大分子后聚合领域的新应用，成功克服了传统共聚合过程中因环张力差异和取代基效应导致的技术瓶颈，首次实现了五种不同硅氧烷单元（二甲基、二乙基、二苯基、甲基三氟丙基和甲基乙烯基）的可控组装。所得新型聚硅氧烷功能弹性体的 T_g 可低至 $-136\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在 $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下经过 20 次循环测试仍保持优异的弹性回复性能，展现出卓越的超低温弹性特性。

本研究不仅为开发具有多重功能特性的聚硅氧烷弹性体提供了普适性的制备策略，更为极端环境用高性能弹性材料的分子设计开辟了新思路。

D10-17

聚烯烃可控制备

简忠保

中国科学院长春应用化学研究所 高分子科学与技术全国重点实验室

聚烯烃全球年产量 2.5 亿吨，是名副其实的第一大高分子材料。我国聚烯烃占全球约 1/3，产值万亿元/年；其发展水平直接衡量国家的化学工业水平。科技创新 2030 专项聚焦多种聚烯烃材料，体现聚烯烃的国家重大需求。聚烯烃的高性能化与可持续化是全球学术界与工业界的焦点，聚烯烃可控合成一直是高分子学科的重点方向。在烯烃聚合反应中，链转移与链行走两个关键反应分别控制聚烯烃的分子量与支化度。分子量与支化度的协同变化，使化学组成极为简单的聚烯烃拥有最为丰富的链结构，由此造就聚烯烃千差万别性质，也是聚烯烃成为最大宗高分子材料的内在根源。因此，聚烯烃可控合成的关键在于控制链转移与链行走反应。

针对聚烯烃分子量与支化度难以协同调控的挑战，瞄准结构可控聚烯烃合成的关键科学问题，以国家需求、国际前沿的高性能与可持续聚烯烃可控合成为目标，本报告将汇报近五年在聚烯烃可控制备领域的研究进展，包括：发展双效应协同催化剂新策略、提出分子量精准定制化大分子单体新概念、建立水相共聚与环张力匹配共聚方法，实现单一乙烯直接精准合成体系化的结构可定制超高分子量聚乙烯、实现（超）高分子量的侧链与主链功能化的结构可控聚乙烯合成、实现“大分子单体-聚乙烯-大分子单体”聚乙烯定量闭环回收、实现（高折射）乙烯-环烯烃共聚物规模化合成并制造光学镜片。

参考文献：

1. P. Chen, X. Kang, K. Li, Z. Jian*, *Nature Sustainability* **2025**, 8, 422-431.
2. Q. Yang, X. Kang, Y. Liu, H. Mu, Z. Jian*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, 64, e202421904.
3. C. Song, D. Yang, C. Wang, Z. Tang, Y. Long, Y. Zhang*, Z. Jian*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2024**, 63, e202410885.
4. Y. Liu, C. Wang, H. Mu, Z. Jian*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2024**, 63, e202404392.
5. X. Hu, X. Kang, Z. Jian*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, 61, e202207363.
6. Y. Zhang, X. Kang*, Z. Jian*, *Nat. Commun.* **2022**, 13, 725.

D10-18

生物基高性能聚酯材料的合成与功能化研究

王静刚*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

聚呋喃二甲酸乙二醇酯（PEF）是一种具有比 PET 更高的 T_g 、强度和模量的新型生物基芳香聚酯，有望替代 PET。但 PEF 的韧性差，成为限制其广泛应用的主要缺点。然而现有的增韧体系如添加增韧剂、柔性链共聚等均难以在保持 PEF 高 T_g 、强度和模量的前提下获得优异的增韧效果。为了解决这一问题，本研究通过分子结构设计将含非平面环结构的二元醇引入到 PEF 分子链中，利用非平面环的空间构象转变提高了 PEF 的韧性。在此基础上，利用呋喃二甲酸结构横轴非对称和刚性合成了高耐热聚酯，利用其高结晶性能合成了生物基工程塑料和聚酯弹性体，利用其人体安全性和降解性合成了可降解聚酯，系统的总结了呋喃二甲酸结构特异性与聚合物的性能关系。

D10-19

非共价键作用调控二维纳米材料自组装及功能化研究

陈文华*、方存炯、蔡翱、潘灵锋、刘鹏举

华侨大学

石墨烯、MXene 等二维纳米材料具有优异的综合性能，如高机械强度、优异导电性、易功能化修饰等，

在诸多领域展现了巨大的应用潜力。如何将二维纳米材料的优异性能转化到宏观材料上是其成型和应用的核心问题。二维纳米材料在组装过程中存在层间作用力强、易褶皱形成孔隙、无规堆叠排列等问题，严重限制了其本征优异性能的发挥。本工作受鲍鱼壳微观结构和界面的启发，在二维纳米材料片层间引入极性小分子，基于两者之间的氢键、 π - π 作用、离子键等多种非共价键作用力，构筑以二维纳米片为连续相、小分子为分散相的仿生纳米复合体系，实现二维纳米片的致密化堆积和有序排列，从而有效增强了二维的传导、力学性能等性能，为拓宽二维纳米材料的应用领域提供了新思路。例如，本工作采用壳聚糖链作为“桥梁”连接 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ -MXene 纳米片，通过静电吸附和氢键作用，使硬质的 MXene 纳米片与嵌入其中的软质 CS 层严格排列，构建了典型的“砖-泥”结构；MXene 负载复合纸的导电率达到 1.09 S cm^{-1} ，在 9 V 驱动电压下可达 120°C 的饱和温度，在 3.0 W/cm 的太阳辐照下可达 70°C ，此外，也可用作柔性传感器，能够实时准确地监测大幅和小幅的人体运动。

D10-20

环境友好多功能聚乙烯醇基泡沫材料的制备研究

徐大伟*、李莉、王琪

四川大学高分子研究所

高分子泡沫材料质轻，比强度高，应用广泛。但传统泡沫材料一般由聚乙烯、聚苯乙烯等为原料制备，来源于石油，使用寿命短，缺乏功能性，且废弃后在自然环境中难降解、难收集再利用，造成严重环境污染和资源浪费。聚乙烯醇（PVA）可由非石油路线规模化生产，环境友好、综合性能优异，其泡沫材料和制品的推广应用对缓解塑料污染具有重要意义。本文通过热塑加工、超临界流体发泡、微波选择性熔接等先进加工技术，结合固相剪切碾磨、共混复合策略引入功能单元，制备了系列具有优异力学性能和功能性的 PVA 基泡沫材料和制品，系统研究了各组分间相互作用，泡孔成核生长过程和功能性构筑原理，分析了复合材料发泡性能和复合泡沫阻燃、环境消纳等性能的影响因素，阐明了泡孔结构调控机理和泡沫结构性能关联机制，实现 PVA 基泡沫材料和制品力学性能和功能性的协同提高，为制备高性能、环境友好泡沫材料和制品提供了新思路新方案。

D10-21

聚偏氟乙烯 (PVDF)多尺度结构调控及功能化

雷廷平*

华侨大学

聚偏氟乙烯 (PVDF) 因其优异的压电性、化学稳定性和可加工性，在传感器、能量收集、水处理和功能涂层等领域展现出巨大潜力。然而，其最终性能高度依赖于内部晶体结构（ α 、 β 、 γ 相等）和微观/宏观形貌的有效调控。本报告将重点阐述 PVDF 材料从分子/晶体尺度（晶相调控）到微观尺度（纤维/孔结构）再到宏观尺度（有序组装、涂层）的结构控制策略，深入解析压电性能形成机理，并展示其在环境治理和能源传感等领域的实际应用效果，为高性能 PVDF 功能材料的理性设计与应用拓展提供新的思路和技术支撑。

D10-22

TiO_2 和 ZnO 对聚乙烯热氧老化的影响

曾术茂、卢滇楠、杨睿*

清华大学

在聚乙烯中加入填料将影响其热氧老化行为。 TiO_2 和 ZnO 是两种重要的填料，对改变聚乙烯的老化行为具有显著的影响。然而，人们对其在原子水平上的机理差异仍然了解不足。本研究结合 AIMD 和热氧化实验，研究 TiO_2 和 ZnO 对聚乙烯热氧化老化的影响机理。基于密度泛函理论计算不同结构的金属氧

化物晶面与聚乙烯反应的吉布斯自由能变。 TiO_2 和 ZnO 都能促进聚乙烯中 C-H 键的解离。 TiO_2 促进烷基自由基的形成和聚合物链上羟基和羰基的生成。相比之下, 表面结构不稳定的 ZnO 对 C-H 键解离的促进作用更大, 导致聚乙烯发生显著的交联反应, 并形成烯羟基团。这些基团对氧气的反应活性较低, 通过降低氧气与碳链之间反应位点的密度, 阻碍羟基和羰基的形成。 TiO_2 对 C-H 键的解离在聚乙烯链上产生了烷基缺陷位点, 但不会导致烯羟基的形成。这些烷基缺陷有助于氧气直接与碳链结合, 从而加速热氧化过程。另一方面, ZnO 不断解离 C-H 键, 促进烯羟基的形成。因此, 不能断定氧化锌能减轻聚乙烯的热氧化老化。烯羟基团的形成使聚乙烯氧化的吉布斯自由能变化从 186 kJ/mol 增加到约 230 kJ/mol, 使羟基和羰基的形成更困难。因此, PE/ ZnO 体系显示出较低的羟基和羰基指数。

D10-23

高强度聚酰胺纤维的链取向与晶体结构多尺度演变

梁程耀, 黄威蕾, 俞森龙, 胡泽旭, 相恒学*, 朱美芳

东华大学, 先进纤维材料全国重点实验室, 材料科学与工程学院, 上海

深入理解聚酰胺纤维成形过程中多尺度结构的演变, 对于实现其高强度性能指标至关重要。本文重点分析了在高速纺各阶段中分子链构象、氢键网络、晶体结构、取向动力学及长周期结构特征的变化。通过构建三相结构模型, 揭示了纤维加工过程中结构与性能的渐进关系。总结了力学性能提升的同步优化机制: 首先, 热拉伸过程通过提高晶体完整性增强纤维强度, 同时促进刚性链段的取向; 紧随其后的热定型过程则通过减少结构缺陷进一步稳定纤维性能。此发现为高性能聚酰胺纤维的多尺度结构设计提供了理论依据, 具有重要的学术和应用价值。

D10-24

阻燃高分子泡沫材料

赵海波

先进高分子材料全国重点实验室, 环保型高分子材料国家地方联合工程实验室, 四川大学

有机高分子泡沫材料因其轻质、高强、隔热等优异性能, 广泛应用于国民经济和国防军工等关键领域。然而, 该类材料本质易燃, 即使经过传统阻燃处理, 仍难以在高温或火灾等极端环境中保持结构稳定和隔热功能, 严重制约其在极端条件下的应用。我们提出“火响应自膨胀/陶瓷化高温隔热聚合物泡沫材料”的全新设计理念与构筑策略, 旨在在保持泡沫材料优异力学性能和隔热性能的同时, 实现其在高温环境下的结构稳定性与阻燃性能提升。发展了以阻燃剂为交联剂的高分子气凝胶泡沫构筑方法, 兼顾气凝胶优异的热绝缘性和高效阻燃特性; 设计并制备了系列火响应型高温隔热防火高分子气凝胶材料, 通过构建遇热快速交联的反应网络, 使材料在加工与服役条件下保持低导热和高力学强度, 在火场环境下可迅速膨胀、炭化或陶瓷化, 从而实现 1300 $^{\circ}\text{C}$ 以上的高温隔热与防火功能。发明了气-液乳化发泡法等可在常压下实现干燥成型的新颖气凝胶制备工艺, 构建了具有辐射冷却等多功能的一体化阻燃气凝胶。此外, 我们还发展了无阻燃元素添加条件下高效抑烟的新型技术路径, 实现了传统聚氨酯泡沫材料在不牺牲性能的前提下抑烟减毒效率提升至 70% 以上, 有效满足电网、新能源、国防等领域对高性能、耐极端环境隔热材料的迫切需求。

D10-25

纳米纤维素功能结构有序化及高性能化

张晓芳*

武汉纺织大学 纺织新材料与先进加工全国重点实验室

天然高分子材料尺度纳米化及功能结构有序化对生物质资源高值高效回收利用具有重要意义。纳米纤维素功能材料的结构有序化是纳米基元微纳特性向宏观性能最大化传递的关键手段。纤维素纳米晶是一种天然高分子纳米材料, 可自组装形成具有高度可调的手性光子结构, 纤维素纳米晶的可控组装及精准调控

对生物结构材料高性能化极具潜力。本研究纤维素纳米晶可自组装形成手性光子结构特性，以纤维素纳米晶为构筑基元，以“高阶结构序构”为指导，基于耦合场协同效应，建立了双场协同调控技术，构筑了厘米级“类单晶”光子结构，突破了复合材料结构难以有序化构筑的技术瓶颈；跨尺度构筑了多级光子结构，制备了力-光学多功能集成的光子组装体，实现了基元本征特性到宏观性能的有效传递。本研究对推动生物材料发展具有重要意义。

D10-26

MXene/纳米纤维素复合功能材料的液相加工与结构调控

周泽航*

四川大学

新兴二维纳米功能材料 MXene 由于其卓越的电学、电化学等性能在储能、电磁屏蔽等应用领域受到了广泛关注。丰富的表面官能团和优异的溶剂分散性使 MXene 适于溶液加工，然而 MXene 分散液的加工流变性能难以调控，并且 MXene 较差的机械强度和柔韧性限制了它的应用。纤维素纳米纤维（CNF）是具有优异的力学性能与丰富的表面官能团，作为优良的功能复合材料增强体已得到了广泛应用。同时，CNF 可以作为增稠剂、流平剂调控改善了 MXene 基复合浆料的溶液加工性和适印性。我们通过设计调控物理缠结、氢键等界面相互作用以及加工成型工艺构建了具有“叶片”状交织结构、“贻贝”状层状结构和“竹”状梯度结构的 MXene/CNF 功能复合薄膜，并通过喷涂、丝网印刷、刮刀涂布、气溶胶喷墨打印等方法制备了多种复合功能材料。MXene/CNF 柔性复合材料具有极佳的导电与力学性能，并在电磁屏蔽、热管理、柔性驱动、红外隐身和传感等领域表现出了良好的应用前景。本研究为高性能 MXene 基柔性电子器件的设计和制备提供了新思路与新方法。

D10-27

管壁中原位组装复合肝素-蛋白微球的纤维素纳米纤维小口径人工血管研究

李格丽、洪枫*

东华大学

由于小口径（ $<6\text{ mm}$ ）人工血管易产生血栓、内膜增生、内皮化速度慢、长期通畅率低等问题，全球无临床可用的小口径人工血管产品。细菌纤维素也称为细菌纳米纤维素（Bacterial nano-cellulose, BNC），具有与细胞外基质相似的三维纳米纤维网络结构、良好的细胞相容性和血液相容性。为提高 BNC 管的抗凝血性，本研究以 BNC 管为结构支撑，采用液体施压注入技术结合冷冻相分离法，引入天然高分子丝素蛋白（Silk fibroin, SF）及抗凝药肝素（Heparin, Hep），管壁内原位形成了负载肝素的丝素蛋白微球，获得 Hep@SFMPs/BNC 复合管。结果显示，该复合管具有长效缓释肝素的效果（15 d），内表面支持人脐静脉内皮细胞的黏附和增殖；与纯 BNC 管相比，复合管的血浆复钙时间延长，全血凝固曲线中 OD 值下降缓慢，吸附的血小板数量减少，所有材料的溶血率均小于 0.3%（远低于国标要求的 5%），并且炎症反应和钙化程度更低。血管体内移植实验表明，复合管替换大鼠腹主动脉 5 个月后，管腔保持畅通，无血栓形成，内皮层在管腔原位生成，内皮覆盖率 $>90\%$ 。平滑肌细胞在内皮层和人工血管中间呈环形生长，胶原蛋白排列有序。该研究为 Hep@SFMPs/BNC 复合管在小口径人工血管领域的应用提供了相关动物实验证据，有作为小口径人工血管的巨大潜力。

D10-28

Sustainable Superabsorbent Polymers: Biodegradable and Fully Bio-Based Materials from Citric Acid and Glycerol

Jingying Chen*, Dong Wang

Wuhan Textile University

In this study, cross-linker free, fully bio-based, biodegradable superabsorbent polymers (SAPs) were synthesized from the multi-functional monomers citric acid (CA), monosodium citrate (MSC) and glycerol (GLY) by polycondensation and subsequent thermal self-cross-linking. All monomers (CA, MSC, GLY) used in this study were not only bio-based but also non-toxic. All of them contain more than two hydrophilic groups in one molecule, which shows great potential to be used in the production of SAPs. The structure, water absorbance capacity and biodegradability of the resulting SAPs were investigated in detail. Upon removal of the soluble fraction, the SAPs have a gel content of approximately 60% and exhibit a maximum absorption capacity of deionized water of $24 \pm 2 \text{ g g}^{-1}$. Moreover, the prepared SAPs show good biodegradability at 25°C (40% biodegradability after 28 days) in an activated sludge-containing medium and are accordingly promising eco-friendly materials for potential use in our environment, not generating persistent microplastics like commercial non-biodegradable SAPs based on neutralized polyacrylic acid and polyacrylamides. Therefore, the bio-based SAPs described in this paper have promising application potential for the sustainable chemical industries including hygiene products and agricultural products, e.g. controlled-release fertilizer coatings and soil improvers.

D10-29

无机/有机杂化纳米互贯网络的设计与性能

傅强*

四川大学

当前主流的有机-无机杂化结构主要包括以下三类：一是无机颗粒增强型结构，通过将无机颗粒直接分散于高分子基体中提升其力学性能。虽然无机组分含量的增加有利于提高材料的模量和强度，但通常会显著降低复合材料透明性与韧性；二是连续填料网络结构，在分子基体内部构筑贯通的无机填料通路，可在提高材料力学性能的同时引入导热、导电等功能。然而，其连续无机填料通路的尺寸通常大于可见光波长，导致复合材料普遍不透明；三是“贝壳式”层状结构：通过有机与无机组分的交替堆叠，构建多层复合界面，在一定程度上兼顾了高强度与高韧性。但由于大量无机组分的堆叠及其与有机组分在光学性质上的不匹配，仍难以实现复合材料的透明性。

为了解决上述问题，我们将报告一种具有纳米有机无机杂化互穿网络结构的高透明高强高韧复合材料。其特征在于，将连续的高分子纤维网络骨架与含无机纳米颗粒的杂化纳米流体浆料相互贯通并交联固化所形成的互穿网络结构。以制备可折叠高硬度高透明玻璃塑料为例，我们将含有高硬度二氧化硅纳米粒子的浆料灌入多孔超高分子量聚乙烯纤维网络中，获得了该兼具玻璃般透明度（透光率 $>92\%$ ）和硬度（ $>1.1 \text{ GPa}$ ）、塑料般断裂伸长率（ $>6\%$ ）和橡胶般弹性回复（ $>79\%$ ）的玻璃塑料。当这种玻璃塑料被加工为 $5 \mu\text{m}$ 厚的薄膜时，在 0.5 mm 的弯折曲率半径下可连续弯折至少 50 万次而无折痕，并且展现出优异的抗冲击性能。这种新型的玻璃塑料，打破了传统材料“软”和“硬”矛盾的界限，在下一代可折叠或可形变显示器件中的具有巨大的应用潜力。

D10-30

海洋防污“芯”：动态表面抗污材料

马春风，张广照*

华南理工大学 材料科学与工程学院

海洋生物污损是海洋工业与开发中无法回避的问题，与能源、环境、国防等国家重大需求相关。由于海洋环境的复杂性和污损生物的多样性，它是一个国际性难题。当前广泛使用的杀生型防污涂层对海洋生态不利、静态防污能力差，且我国在关键基础材料方面缺乏知识产权。本报告将围绕海洋防污体系的核心——高分子树脂展开，介绍本团队所提出的“动态表面防污”策略，以及在此策略指导下所发展的系列可控降解高分子基海洋防污材料的进展。

参考文献:

- (1) Pan JS, Ma CF, Zhang GZ et al. Degradable vinyl polymers for combating marine biofouling, Acc. Chem. Res. 2022, 55, 1586
- (2) Zhang YC, Ma CF, Zhang GZ et al. Self-Regenerating Zwitterionic Hydrogel Coating Modified by Metal-Organic Framework for Integrated Anti-Biofouling and Anti-Corrosion, Adv. Funct. Mater. 2025, 2424994.

D10-31

具有隔离网络结构橡胶材料的制备及其电磁屏蔽性能调控

战艳虎*

聊城大学

国家重大战略装备对电磁屏蔽/结构一体化材料的迫切需求,推动着高力学性能橡胶基电磁屏蔽材料的快速发展。构建隔离网络虽然能提升橡胶材料的屏蔽性能,但是致密的填料网络导致交联结构不均匀,促使力学性能骤降。基于此,本课题组利用疏松型隔离网络与均匀硫化网络协同的策略系统调控橡胶材料的力学和屏蔽性能。采用混炼、液氮辅助球磨粉碎-混合工艺将碳纳米管包覆在未硫化的混炼胶颗粒表面,再利用一次硫化联用工艺协同构建均匀交联网络与疏松型导电/导磁隔离网络,实现橡胶材料力学与屏蔽性能的协同优化。该工艺在橡胶基体中构建一种新型的结构,即碳纳米管的疏松型隔离网络、导电炭黑的均匀分散网络、分子链的均匀交联网络的多重网络。该新型结构的存在,使得橡胶材料的电磁屏蔽性能、拉伸强度、断裂伸长率分别达到 52.9 dB, 17.9 MPa 和 408%。同时,该材料导热系数为 0.369 W/m K。更重要的是,该材料的体积能力吸收为 4.52 MJ/m³,是纯橡胶材料的 5.94 倍。因此,该工艺制备的橡胶材料可以应用与电磁屏蔽密封器件领域。

D10-32

航空轮胎用仿生合成橡胶的分子设计、聚合工程及产业化应用

白晨曦*

中国科学院长春应用化学研究所

飞机轮胎作为保障飞行安全的核心部件,其抗冲击性、载荷承受能力、耐热性及耐磨性等指标均需满足严苛的技术标准。在航空轮胎制造领域,高品质天然橡胶是不可替代的战略性原料。但我国自产天然橡胶在物理性能指标上与国际优质产品(如印尼、泰国产高等级天然橡胶)存在显著差距,难以满足高端轮胎的制造需求。

为解决这一技术瓶颈,研究团队在三个维度实现了创新突破:在结构设计方面,通过对高标号天然橡胶的关键组分精准解析,构筑了天然橡胶和仿生合成橡胶多层级结构控制的顶层理论;在聚合改性方面,实现了基于天然胶乳蛋白保守序列的多肽合成以及不同结构磷脂类化合物的合成,攻克了极性非胶组分与非极性橡胶大分子链的键合问题;在工艺工程方面,解决了千吨级中试放大聚合过程中的传质传热、高粘度胶液凝聚分散等难题。

性能测试数据显示,新型仿生合成橡胶相比于高标号天然橡胶具有相当的拉伸强度、断裂伸长率和 300% 定伸,同时具有更低的生热。而与同类别的所有异戊橡胶相比,仿生合成橡胶混炼状态的格林强度和硫化状态的模量得到大幅度提升,甚至接近天然橡胶的水平,有效弥补了传统异戊二烯类合成橡胶的性能短板。此外,项目团队在全球范围内率先开展了类天然橡胶结构的仿生合成橡胶万吨级中试,该产业化技术具备典型的技术先进性,为研发新型航空轮胎提供关键材料和技术支撑。目前,仿生合成橡胶航空轮胎在某国家级试飞基地成功完成装机飞行验证,这一里程碑事件标志着我国在航空轮胎关键材料与技术领域取得了重大突破。

D10-33**智能液晶高分子材料的分子创制与性能调控**

兰若尘*

江西师范大学

液晶聚合物材料兼具液晶的各向异性和聚合物的弹性，液晶分子的协同效应可以将纳米级的扰动效应放大为宏观材料的响应行为，因此液晶聚合物可以作为沟通纳米级分子异构性和宏观材料智能响应行为的桥梁。本文提出了由过度拥挤的烯烃分子马达、腺分子开关和 DASA 分子驱动的光响应液晶聚合物材料的构建策略，揭示了分子结构和交联模式的影响，阐明分子机器驱动的新型光响应液晶聚合物的响应机制，构建具有光驱动变形、光响应变色和动态荧光特性的智能液晶聚合物，并探索其在软机器人、光子晶体和信息加密领域的潜在应用。

D10-34**生物基相容剂的研制与禾塑复合材料**

张子俊 方超 朱锦*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所，
浙江省宁波市镇海区中官西路 1219 号，邮编 315201

高分子助剂在加工改性中起到重要作用。目前高分子助剂主要来源于化石资源，开展生物基高分子助剂对实现全生物基高分子材料十分重要。但是目前商业化的生物基高分子助剂非常少。高分子相容剂在提高高分子与高分子、高分子与填料的界面起到至关重要的作用，传统相容剂接枝率低、气味大，无法满足高分子复合材料的下游应用。本报告将介绍宁波材料所在生物基高分子相容剂和禾塑复合材料的最新研究进展。

D10-35**耐高温邻苯二甲腈树脂及其复合材料研究进展**王锦艳^{1,2}，宗立率^{1,2}，丁子淳²

1.精细化工全国重点实验室，大连 116024

2.大连理工大学化工学院，大连 116024

轻质透波复合材料作为现有飞行器、舰船以及弹体的雷达材料重要组成部分。随着装备的迭代升级，透波复合材料也面临着更为严苛的高温服役环境，迫切需要设计新的耐温体系以满足装备发展需求。该报告报道了本团队近年来在开发高透波耐高温邻苯二甲腈树脂及复合材料领域的最新研究成果。详细探讨了新型耐高温透波邻苯二甲腈树脂的合成策略、复配体系的相容性以及相应复合材料的综合性能，阐明了体系设计和材料性能之间的构-效关系，研制成功耐 400°C、600°C 的高性能透波复合材料，为高性能邻苯二甲腈树脂基复合材料在极端环境下的应用开辟了新的可能性，进一步报道其复合材料在耐高温透波结构材料领域的应用。

D10-36**AI + 机器人赋能高分子材料研发智能变革**

江豪*

深圳晶泰科技有限公司

随着人工智能（AI）和自动化技术的快速发展，新材料研发范式正经历革命性变革。传统材料研发依赖“试错法”，存在周期长、成本高、效率低等瓶颈，而 AI 与自动化技术的深度融合为材料发现、设计、合成及表征提供了全新路径。本报告将探讨“AI + 机器人赋能高分子材料研发智能变革，重点介绍自动化

实验平台如何协同优化材料性能预测、加速候选材料筛选，并实现闭环自主优化。通过案例展示 AI + Automation 在 高分子领域智能合成中的应用，进一步分析该范式对缩短研发周期、降低实验成本的核心价值。最后，展望 AI 与自动化技术深度融合下新材料研发的挑战与机遇，为跨学科创新提供参考。

D10-37

药物可控递释聚氨基酸载体材料研究

沈娜*、汤朝晖、陈学思

中国科学院长春应用化学研究

癌症严重威胁我国人民的生命健康，年新发和死亡病例全球第一。提高癌症治疗水平、保护我国人民的生命健康直接关系到我国国家安全和可持续发展。药物治疗是癌症治疗的主要手段之一，如化疗和免疫治疗，在癌症治疗领域具有不可替代的地位，然而在抑制肿瘤生长的同时也会引发严重全身毒副作用。尽管纳米药物，具有良好的溶解性、血液循环和肿瘤药物浓度，可显著降低小分子原药的副作用，但在患者生存期和疗效方面却未有显著提升。其重要原因是药物的肿瘤靶向性和选择性不足，据统计纳米药物到达肿瘤的药物仅为注射剂量的 0.7%。现有的肿瘤靶向策略主要有主动肿瘤靶向药物输送和肿瘤选择性药物激活策略，但是传统策略的效果不尽人意，仅少数抗体药物偶联物（ADC）药物成功上市，其较低的药物抗体比（DAR）也限制了递送效率。

聚谷氨酸（PLG）具有良好的生物相容性、降解性，以其为载体的顺铂纳米药物（NC-6004）已进入日本 III 期、美国 I 期临床试验，是有转化潜力的药物载体材料；然而其肿瘤靶向性差、缺少功能性。本研究围绕聚谷氨酸载体结构与性能的关系这一基本问题，主要在主动靶向、选择性激活、双重靶向药物递送新策略三方面开展工作，提出了新原理和方法，取得系列研究成果：1）在聚谷氨酸上键合 Fc 结合肽，构建多价 Fc 结合肽，创制新型多特异性抗体和超高 DAR 抗体药物偶联物，实现高效的抗体靶向治疗[1-2]；2）在聚谷氨酸上分别键合乏氧激活血管阻断剂、共载核黄素和四价顺铂，制备自激活和超声激活聚谷氨酸药物，增强肿瘤选择性激活[3-4]；3）在聚谷氨酸上同时键合凝血靶向肽和乏氧激活 TLR7/8 激动剂，实现双重靶向治疗：先创造肿瘤凝血、乏氧微环境，再精准富集并原位激活药物[5]。这些为相关纳米药物的研究可提供理论依据。

关键词：聚氨基酸，药物递送，纳米药物，抗肿瘤，可控递释

参考文献：

[1] Na Shen*; et. al, Nano Letters. 2023, 23(10): 4191-4200.

[2] Na Shen*; et. al, Advanced Science, 2025,12 (3), 2408899.

[3] Na Shen*; et. al, Biomaterials. 2022, 288: 121736.

[4] Na Shen*; et. al, CCS Chemistry, 2024, Doi: 10.31635/ccschem.024.202404412.

[5] Na Shen*; et. al, Advanced Materials, 2024, 36(23), 2312493.

D10-38

基于交联网络设计的形状记忆聚合物研究

罗兰*

哈尔滨工业大学

形状记忆聚合物是一种在外界激励下能主动发生形状改变的智能材料，具有变刚度、轻质、展开可控、低冲击等优势，在各个领域中都发挥着重要作用。环氧树脂的耐高温、耐低温、耐空间环境等特性，作为一种高性能的热固性树脂，不仅满足航天领域对高性能材料的紧迫需求，也为智能材料的应用开辟新的道路。因此，本文立足于交联网络结构设计，提出形状记忆环氧树脂的拓扑交联网络结构、多维度交联网络结构等策略，探究微观交联网络结构与宏观性能间的关联机制，揭示三重形状记忆效应、阻热效应等机理，开发一系列具有窄转变温度区间、高导热、电驱动的形状记忆环氧树脂，实现形状记忆环氧树脂及其复合材料的快速响应和远程驱动，为促进航天材料技术的进步和快速发展做出贡献。

D10-39**基于液滴操控的聚合物精准成型与组装**

宋延林*

中国科学院化学研究所

通过深入系统研究纳米材料对液滴扩散、融合、聚并和转移的调控规律，精确控制“气-液-固”三相线动态行为，突破了经典牛顿碰撞定律和奥斯瓦尔德熟化的局限，揭示了液滴与气泡的演化控制机制，发展了功能液滴超精细图案化的理论和方法，提出了墨滴“点、线、面、体”成型的精准控制原理和策略，将印刷精度从微米提高到纳米尺度。利用界面性质操控解决了高分子树脂打印过程中的回流难题，制备了形貌可控的精细三维结构，实现了墨滴一滴成型，材料利用率达 99%。以有机高分子材料的精细三维印刷图案化为基础，发展了绿色印刷盲文技术，在中国盲文出版社、地铁、机场、博物馆和各地盲校广泛应用，并用于北京冬奥会和杭州亚运会，被新华社报道“体现人文关怀，展现国家形象”。

关键词：纳米绿色印刷，液滴操控，高分子材料，微纳结构，功能器件

D10-40**超越传统能源器件：从结构设计到 3D 打印加工**

张楚虹*, 何菡娜, 刘新刚

四川大学高分子研究所, 先进高分子材料全国重点实验室(四川大学), 成都, 610065

新能源、电子通讯、生物医用、国防军工等高新技术领域的发展迫切需要高性能多功能能源器件。然而，目前的能源器件以二维器件为主，结构、功能单一，能量和功率密度、力电转换效率受限。理论分析表明，实现功能的放大需要三维复杂结构，如：三维储能器件能利用 Z 轴空间，实现更高负载、更高能量与功率密度，具有大长径比的阵列结构和小模量的多孔结构三维俘能器件，可提高力电转换效率，但现有加工技术很难实现。本研究创新三维结构设计和 3D 打印加工技术，获得了传统加工方法难实现的高性能、多功能复杂结构三维储能-俘能器件：（1）建立了三维储能器件室温快速自修复、原位表界面工程等 3D 打印加工新技术，有效消除层间界面电阻，加快反应动力学，同时实现高能量/功率密度和高柔性，突破传统二维薄膜电池有限空间供能阈值；（2）创新设计并 3D 打印加工了“小应力到大应变”功能增强复杂结构三维压电俘能器件，解决了高性能三维复杂结构功能器件加工难题，突破目前二维脆性压电陶瓷薄膜局限，实现高效、智能力电转换，为二次电池、电子电器、智能传感等领域提供关键器件和技术。

D10-41**微孔注塑聚合物发泡材料的结构调控与性能**

汪龙*、吴明辉、任倩

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

微孔发泡材料具有重量轻、比强度高、高韧性、隔热隔音等优点，因此在食品包装、汽车、建筑等领域得到广泛应用。微孔发泡材料的泡孔结构会直接影响材料的最终性能，因此对泡孔结构与性能之间的关系进行系统研究非常重要。本研究首先采用微注塑发泡工艺成功制备了具有不同泡孔尺寸的发泡材料，并对泡孔尺寸对力学性能、电学性能及隔音性能的影响进行了系统研究。研究结果表明，在力学性能方面，通过减小泡孔尺寸可以实现泡沫材料的脆韧转变。随着 PLA/PBAT 发泡材料的泡孔尺寸从 22.9 降低至 11.2 微米，冲击强度有近 180% 的提升。此外，发现发泡材料的冲击行为还受到相容性及 PLA 的结晶度的影响。在电学性能方面，通过将聚合物发泡材料的泡孔尺寸从 71 提高至 317 微米，可调控导电填料的取向并缩短真实导电路径，进而提高导电复合发泡材料的电导率和电磁屏蔽性。在隔声性能方面，通过将发泡材料的泡孔尺寸从 231 减小至 96 微米，可将发泡材料的隔声性能从 29.6 提高至 33.1 dB。本研究初步建立了泡孔结构与多种性能之间的构效关系，并对其机理进行了研究。

D10-42

开壳自由基受体窄带隙材料及其光热应用

张浩哲、党纤曦、李远*

1. 北京大学深圳医院
2. 华南理工大学

受硝基结构的启发,本研究将“芳香化硝酸自由基”受体单元与 EDOT 富电子供体单元偶联,构建了光、热、电化学稳定的新型 A-D-A 型窄带隙自由基分子材料 EDOT-TPAO₄,展示出显著的分子内电荷转移和“聚集诱导自由基”效应。与传统的三苯胺供体相比,“芳香化硝酸自由基”受体的强吸电子效应,独特的开壳电子结构赋予材料优异的光捕获能力,最终实现了光热转换效率的显著提升。在 1064 nm 激光激发下 (0.9 W·cm⁻²), EDOT-TPAO₄ 粉末在 60 秒内可迅速升温至 290°C,光热转换效率显著超越传统 808 nm 体系;基于此实现 1.433 kg·m⁻²·h⁻¹ 的水蒸发速率与 97.5% 的转换效率,成为目前合成最简易且性能最优的纯有机光热材料之一。本研究创新性地将开壳层自由基受体发展为新型电子结构单元,为有机电子受体设计提供重要范式。

D10-43

动态交联聚氨酯表面图案化及信息储存

白静*

西安交通大学

随着低碳发展和资源保护的发展趋势,动态交联聚合物受到了广泛的关注。聚氨酯因其可设计性强、性能优异等特点受到广泛的关注和研究。我们将多种动态化学键,如席夫碱、烯胺酮键、配位键、葱二聚等,引入到聚氨酯体系,一方面保障了其可循环利用特性,另一方面也将动态键的智能响应性和功能性引入到聚氨酯弹性体体系。例如:将动态键和配位键相结合,制备出一种新型动态交联聚氨酯,并将其作为信息写入和存储载体。具体地,以乙酰丙酮铝为交联剂,配位键的化学结构可以通过 pH 值进行有效的区域性调控。向体系内部添加光酸,可将紫外光应用于 pH 控制过程。对于上述区域性差异结构的聚氨酯进行外力负载,可以实现非均相内应力分布,并以彩色图像的形式检测出来,为书写加密信息提供了良好的平台,具有较高的安全性和防伪能力。编码的图案可以通过重组配位键和均一化交联结构被擦除。因此,应力分布均匀化,应力颜色图案被擦除。光酸的引入,可以实现信息的紫外光的精确时空控制,信息编码可以设计成更复杂的形状。该方法省去了昂贵的光刻和多步操作,便于信息的编码和存储。而对于葱基团功能化聚氨酯体系,也可以直接通过光控葱二聚反应,实现相似的信息写入与储存,且该过程完全可逆,材料可多次循环利用。

D10-44

动态交联的优势:多功能聚酰亚胺涂层可克服腐蚀、热老化和机械损伤等多重挑战

王杰、齐福刚*、张彪、赵镍

湘潭大学

多功能化是金属表面有机保护涂层的未来发展方向,将多种功能有效地集成到一种材料中面临巨大挑战。有机涂层的多性能协同提升机理分析也具有较大难度。基于此,该研究提出了一种分子交联结构策略来制备多功能化复合涂层,通过“刚柔相济”的聚酰亚胺 (PI) 与 2-脲基-4[1H]-嘧啶酮 (Upy) 的四重氢键之间形成的动态交联网络协同作用来实现。电化学阻抗谱(EIS)分析表明,制备的 Upy-PI 复合涂层在 3.5wt.% NaCl 溶液中浸泡 3 天后,阻抗模量高达 1012Ω·cm²,比纯 PI 涂层的阻抗模量 (107Ω·cm²) 高出 5 个数量级。Upy-PI 经过 200°C 加温老化 480h 后,仍然具备长期防腐能力。当温度提高至 250°C 老化 15 小时后,Upy-PI 的阻抗模量依然能达到 1011Ω·cm²,具备很强的防腐能力。此外,Upy-PI 复合涂层具有出色的力学性能,其拉伸应力为 9.32 MPa,是纯 PI 涂层的 72 倍。进一步的微观表征结果表明,与纯 PI 涂层相比,

Upy-PI 复合涂层具有优异的自修复能力。该研究还对复合涂层进行了多性能协同提升机理分析,厘清了材料的结构与性能之间的联系,为相关研究提供了有力的科学依据。

D10-45

高分子多尺度动态键网络调控及绿色循环

张新星*, 杨昕, 邱晓艳

先进高分子材料全国重点实验室, 四川大学高分子研究所, 成都, 610065

塑料橡胶纤维等高分子材料是国民经济支柱产业,我国产销量均居世界第一,但废弃后造成的环境污染问题受到全球关注,亟需开展循环经济新材料领域科技创新与产业化技术攻关。针对现有可循环高分子材料依赖分子合成、难以规模化制备的瓶颈问题,提出具有多级松弛、界面相增强、动态结晶的多尺度动态键网络构筑新思路,实现了从聚氨酯、环氧树脂等商业品种高分子规模化制备可重构循环与自修复强韧超分子塑料,拉伸强度达聚乙烯塑料 2 倍,断裂韧性超传统橡胶 4 倍、超分子泡沫比强度超铝合金泡沫 5 倍;针对废塑料化学回收单体提纯困难、经济可行性差等难题,提出力化学解交联与动态界面微相构筑新策略,实现从废轮胎、有机人造石废渣等大宗高分子固废制备高值化制品的突破;从源头削减与末端回收全链条支撑“降碳减污、扩绿增长”国家重大战略。

D10-46

高性能可降解热塑性聚酯弹性体设计制备

刘斐*, 陈曹宏、王静刚、朱锦

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

热塑性聚酯弹性体是一种兼具橡胶弹性和塑料加工性能的高分子材料,因其独特的物理和化学特性成为现代工业中不可或缺的重要材料。现有热塑性聚酯弹性体主要由石油基对苯二甲酸聚酯作为硬段提供物理交联点,石油基聚醚作为软段提供可逆网络制成,二者均不可降解,尽管其可回收性为环保提供了部分解决方案,但长期存在仍会造成对环境的危害。本研究提出不使用高结晶聚酯和聚醚分别作为硬段和软段,通过分子结构设计构建新型高性能可降解热塑性聚酯弹性体。通过在含有饱和六元脂环的聚酯分子链中引入第三单体共聚,结合和饱和六元脂环的立体构象调控,实现弹韧兼备的可降解热塑性聚酯弹性体材料设计制备,为实现可持续发展提供新思路。

D10-47

基于聚合诱导相分离的硅橡胶基热塑性弹性体及其相态和界面作用调控

于冰*, 郭旭彤、田明

北京化工大学

橡塑共混热塑性弹性体(TPE)特别是硅橡胶基热塑性弹性体,因其兼具塑料高强度和橡胶高弹性的优异性能以及可重复加工的特性而引起人们的广泛关注,但由于硅橡胶与大多数塑料高度不相容,实现相态的调控以获得精细的相态结构仍然是一项重大挑战。本研究通过聚合诱导相分离(PIPS)制备了一种新型热塑性聚氨酯/硅橡胶热塑性弹性体(TPU/SiR TPE),以硅橡胶(SiR)为分散相,热塑性聚氨酯(TPU)为连续相,具有精细的相态结构和良好的综合性能,同时材料性能可通过 SiR 相的含量以及聚氨酯的预聚时间调控。此外,为了改善材料的相态和界面作用,通过硫烯点击反应对聚二甲基硅氧烷(PDMS)接枝改性引入酯基,得到不同接枝度的 PDMS,进而研究接枝对 TPU/SiR TPE 体系相态、重复加工性能和弹性的影响。结果表明,PDMS 接枝后样品 SiR 分散相的平均尺寸可低至 1.93 μm ,同时在极性和界面氢键的影响下,界面厚度从~420 nm 增加到~570 nm。样品重复加工后的拉伸强度保持在初始值的 90%以上,凝胶含量也稳定在 90%以上。此外,基于 PIPS 的 TPU/SiR 热塑性弹性体还具有舒适的触感,耐水耐汗特性和低温弹性,使其在柔性电子材料、表带、电子皮肤等方面具有潜在的应用前景。

D10-48**聚电解质弹性体的力学设计、制备及其无漂移柔性压力传感器**

杨灿辉*

南方科技大学

类皮肤柔性压力传感器为机器人、医疗保健等众多领域的人工触觉技术提供了可能。柔性压力传感器需以高灵敏度和高精度检测压力，但现有技术中，软材料的粘弹性蠕变会导致信号漂移，从而导致不可靠的测量结果，甚至造成误触发或安全隐患。在各类柔性压力传感器中，离电型传感器凭借双电层纳米级电荷分离的特性表现出卓越的传感性能，然而离子溶剂的泄漏与粘弹性蠕变共同加剧了其信号漂移问题。本报告将介绍我们在无漂移离子电子传感领域的最新突破。我们通过设计一种兼具无泄漏与抗蠕变特性的聚电解质弹性体实现该目标。该材料包含固定的阳离子以防止离子泄漏和通过高交联密度实现低蠕变的中性滑移链段。实验结果表明，基于该弹性体的传感器在 500kPa（接近其杨氏模量）的超高静态压力下几乎无漂移，其漂移率比传统离电型传感器低 2-3 个数量级，并能实现机器人操作的稳定精准控制。无漂移传感技术为机器人及其他超高精度传感应用开辟了新路径。

D10-49**电池中的跨尺度孔结构设计与性能**

何菡娜*, 张楚虹, 李小龙

四川大学

在锂资源日益短缺的背景下，新型钠基电池因其资源和成本优势，逐渐成为锂离子电池的重要补充。然而，目前关键钠基电池体系，包括钠离子电池和钠-氧气电池，因缺乏高性能电极材料，严重限制了其商业化进程。基于此，我们团队致力于电池中跨尺度孔结构设计及其作用机制研究，开发了双干扰化学耦合、超分子交联和深共晶溶剂定向剪切等微观闭孔结构定制策略，实现钠离子电池硬碳负极材料从闭孔诱导生成到参数精确调控的跨越式突破。双干扰化学耦合和超交联策略成功破解沥青碳化过程中石墨微晶过度生长难题，实现碳结构由高度石墨化软碳向无序伪石墨域主导、大层间距且闭孔丰富的硬碳转变，平台容量较沥青基软碳提升近 3 倍[1-2]。基于深共晶溶剂的生物质细胞分子剪切策略通过动态氢键竞争机制，选择性解聚竹纤维超分子组装体，实现其衍生硬碳闭孔尺寸、孔壁厚度和孔分布的可控调节，可逆比容量高达 422 mAh g⁻¹ [3]。在此基础上，通过 3D 打印宏观三维多孔复杂结构定制加工，构筑了三维“蓄水池”栅格孔和“可呼吸式”仿生梯度孔结构空气正极，显著提升了电池界面反应可逆性和三相传质动力学。其中，“可呼吸式”仿生梯度孔结构电极氧气极限电流较其它金属-空气电池体系提高~1 个数量级，在极高的氧气极限电流密度 (3 mA/cm²) 下，功率密度高达 6.3 mW/cm²，为促进高性能低成本钠基电池发展提供了关键材料和技术支撑。

参考文献:

- [1] Lan N., Li J., Zeng L., Luo D., Du D., Li X., He H.*, Zhang C.* Advanced Materials, **2025**, DOI: org/10.1002/adma.202419528
- [2] He H.#, He J.#, Yu H., Zeng L., Luo D., Zhang C.*. Advanced Energy Materials, **2023**, **13(16)**, 2300357 [3] Lan N., Shen Y., Li J., He H.*, Zhang C.*, Advanced Materials, **2024**, 2412989

D10-50**共价键合高分子电解质/电极界面的构建及其应用**

梁业如*

华南农业大学

发展先进固态锂电池能有效满足未来对大规模储能的需求，开发高性能固态电解质是其关键所在。尽管已取得显著的进展，但当前固态电解质与电极的相互作用力局限于弱的非共价键，易导致高的界面阻抗

和不理想的电化学性能。有鉴于此, 本文从固-固界面构建的源头出发, 在设计合成具有高室温离子电导率的富氧遥爪聚合物电解质基础上, 利用遥爪聚合物活性端基与改性电极表面化学官能团反应形成共价键, 增强了固态电解质与电极之间相互作用力, 构建得到共价键合电极/高分子电解质界面结构, 由此降低了固态锂电池的界面阻抗, 并提升了其电化学稳定性。该策略具有普适性, 可适用于多种正负极材料及不同类型的固态电解质体系, 包括高分子固态电解质、无机固态电解质、有机-无机固态复合电解质等。通过系统的实验表征与理论模拟, 揭示了共价键在界面处的关键作用机制: 一方面, 共价键合增加了电极与电解质的有效接触面积; 另一方面, 优化了锂离子传输路径并促进电极内部的均匀离子分布, 从而显著提升电池的充放电效率。此外, 共价键的引入还大幅提升了电池在机械变形条件下的结构稳定性, 为柔性及可穿戴电子设备的储能系统开发提供了设计思路。

D10-51

基于环状赖氨酸及交硫酯的可持续高分子材料

陶友华

中国科学院长春应用化学研究所

理论上, 聚氨基酸有望与聚乳酸一样, 通过开环聚合实现高效合成, 并成为大品种的可持续高分子材料。但是, 目前聚氨基酸的合成还存在诸多挑战, 严重限制了聚氨基酸的规模化应用。我们发展了非光气法合成氨基酸环状单体的新方法, 为把氨基酸聚合物发展成类似于聚乳酸的大品种可持续高分子材料奠定了基础。正在与中石化合作, 开展环状赖氨酸单体及氨基酸高分子的合成与产业化研究。另一方面, 塑料的闭环回收正成为全世界科学界关注的焦点。在前期发展的非光气法合成氨基酸环状单体的基础上, 利用氨基酸易于衍生化的结构特点, 将氨基酸高效转化为巯基酸, 高效合成了具有温和条件下近平衡热力学的六元交硫酯单体, 交硫酯可以以廉价易得的乙醇酸为原料高效制备, 单体的成本不会超过 6000 元/吨, 且所得聚合物具有很好的结晶性, 具有与聚烯烃媲美的物理化学性质。交硫酯聚合物有望成为具有重大应用前景的可闭环回收高分子。

参考文献

- [1] Li, M.; Zhang, Z.; Yan, Y.; Lv, W.; Li, Z.; Wang, X.; Tao, Y.*; Anion-Binding Catalysis Enables Living Cationic Polymerization, *Nat. Synth.* 2022, 1, 815-823.
- [2] Wang, Y.; Zhu, Y.; Lv, W.; Wang, X.; Tao, Y.*; Tough while Recyclable Plastics Enabled by Monothiodilactone Monomers, *J. Am. Chem. Soc.* 2023, 145, 1877-1885.
- [3] Lv W.; Wang Y.; Li M.; Wang X.; Tao Y.*; Precision Synthesis of Polypeptides via Living Anionic Ring-Opening Polymerization of N-Carboxyanhydrides by Trithiourea Catalysts, *J. Am. Chem. Soc.* 2022, 144, 23622-23632.
- [4] Li, M.; Tao, Y.; Tang, J.; Wang, Y.; Zhang, X.; Tao, Y.*; Wang, X.; Synergetic Organocatalysis for Eliminating Epimerization in Ring-Opening Polymerizations Enables Synthesis of Stereoregular Isotactic Polyester, *J. Am. Chem. Soc.*, 2019, 141, 281-289.
- [5] He, W.; Wang, S.; Li, M.; Wang, X.; Tao, Y.*; Iterative Synthesis of Stereo- and Sequence-Defined Polymers via Acid-Orthogonal Deprotection Chemistry, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61, e202112439.
- [6] Wang, Y.; Li, M.; Chen, J.; Tao, Y.*; Wang, X.; O-to-S Substitution Enables Dovetailing Conflicting Cyclizability, Polymerizability, and Recyclability: Dithiolactone vs. Dilactone, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60, 22547-22553.

D10-52

高分子功能复合材料 3D 打印加工

陈宁*, 陈英红, 李怡俊, 张楚虹, 王琪

先进高分子材料全国重点实验室(四川大学), 四川大学高分子研究所,

高分子材料 3D 打印可制备传统加工技术不能制备的形状复杂的高分子制件，是近年来高分子材料加工领域快速发展的前沿技术。但适用于 3D 打印的高分子材料种类少，结构功能单一，难以制备高分子功能器件。

本文报告了近年来我们在高分子功能复合材料规模化制备及 3D 打印加工方面的工作：建立了先进的高分子材料 3D 打印加工平台；通过有机/无机杂化、固相剪切碾磨、分子复合、粉体球形化等技术规模化制备了适合于选择性激光烧结、熔融沉积成型和墨水直写打印加工的高分子微纳米功能复合材料。实现了功能复合粉体、丝条和墨水的 3D 打印加工，研究了多组分多相高分子材料 3D 打印低维构建、层层叠加、自由界面成型、复杂固-液-固相转变过程。制备了数种传统加工难以制备的形状复杂的高分子功能器件，如压电俘能器、柔性传感器、骨组织工程支架、电磁屏蔽器件等，开拓了 3D 打印应用新领域。本文得到国家自然科学基金（52173043、51933007）资助。

D10-53

杂萘联苯聚芳醚树脂基复合材料

李楠

大连理工大学

杂萘联苯聚芳醚类树脂是一类新型特种工程塑料，由大连理工大学自主开发并工程化，其特点是既耐高温又可溶解，作者主要研究工作是将该类树脂推广应用至高性能热塑性复合材料领域。本文综述了摩擦学用杂萘联苯聚芳醚树脂改性方法、杂萘联苯聚芳醚耐磨自润滑复合材料的组配设计和界面改性方法，研究了其在航空煤油、特种润滑油中的摩擦学特性，介绍其在轴承、轴瓦等领域的工程应用

D10-54

基于一维限域空间构筑非均质微孔策略的高灵敏纤维传感器

任伟、杨俊龙*

四川大学高分子科学与工程学院

纤维结构传感器具有轻质性、柔韧性、灵活的编织形式，能够方便地集成于传统服装中，是构建可穿戴柔性器件的理想选择。纤维交叉杆（Fiber Crossbar, FC）结构传感器作为新兴的纤维架构传感器，其在经纬交织点形成一个传感器单元，多个 FC 结构传感器可以形成具有多功能的阵列器件。然而复杂结构的构建是基于 FC 结构传感器开发中的一项关键挑战，目前 FC 结构传感器的加工方法以浸渍、同轴纺丝为主，所形成的简单结构导致灵敏度低、检测范围窄等问题。本研究通过调控气流纺丝过程中溶剂的挥发行为，在一维线结构的限域空间内构筑具有非均质孔隙的多级微结构，热塑性聚氨酯/离子液体（TPU/IL）纤维在沉积过程中与镀银尼龙基底形成结构嵌合，并基于离子电子双电层策略，实现了在 0-62.5、62.5-155、155-300kPa 下分别为 6.75、4.87、2.06kPa-1 的高灵敏，高于目前已报道的 FC 结构传感器。本研究中集成的高密度阵列器件可实现对人体关节角度最小达 1.27° 的识别能力，结合机器学习实现了对关节微小动作和多自由度动作的精准识别，在此基础上扩展了用于辅助偏瘫患者下肢被动康复训练、上肢主动康复效果定量评估的智能康复系统，为定制化智能康复系统的发展和定量化康复评估提供了新思路。

D10-55

高分子立构可控合成

朱剑波*

四川大学化学学院，环保型高分子材料国家地方联合工程实验室，成都 610064

高分子可控合成能够调控聚合物的分子量、立构规整性、序列结构和拓扑结构等关键参数，从而实现对材料性能的精准设计和优化。其中，高分子立构规整性控制是高分子合成领域的难点和前沿，但仍然面临单体种类少，高效催化体系缺乏等关键挑战。本次会议将介绍我们课题组关于立构规整性高分子的设计

与可控合成相关工作，包括手性单体设计、催化剂开发以及聚合方法创新等方面。基于我们开发的立构规整性控制方法，可以大范围调控聚合物材料性能，进而实现了高性能商业化 PHAs 材料与交替 PLGA 材料的高效催化合成。

D10-56

超高性能纤维的微结构调控及工程化应用

朱才镇、徐坚*

深圳大学

高性能纤维作为先进复合材料的增强材料在国防工业有着广泛的应用，已成为当今航空、航天、兵器等领域不可或缺的关键原材料，同时也是以风电、汽车、高速列车等的国民经济领域重要的支撑材料。纤维中微缺陷的形态、大小、分布及含量是影响其力学性能及稳定性的重要因素。研究团队以缺陷控制为核心，从共聚单体结构设计、共聚序列结构调控、纺丝凝固成型新体系到预氧化碳化全过程开展缺陷调控，开发了择优取向微缺陷原位二维分析方法，设计合成了新型共聚单体和缓凝固新体系，建立了组成、工艺对缺陷的影响规律，为抑制缺陷的生成和演化奠定了基础。研究团队与企业联合攻关，在千吨工程线上实现了 T1000 及 T1100 级超高性能碳纤维的工程化稳定量产，开发的碳纤维进入了国产大飞机供应体系。

D10-57

共轭有机光电材料:可控组装及性质精准调控

黄银娟*

西安交通大学

平面型有机光/电分子突出的平面性赋予其出色的光电性质，但同时带来阻碍其应用的关键问题，即强自堆积效应，进而导致液相加工性和发光性能差，且可控组装和性能调控受限，这也是有机光/电材料长期并广泛存在的问题。因此，我们提出大尺寸侧链工程策略、共组装策略及环限域策略精准调控共轭有机功能分子 π -平面间相互作用及其性能的方法，成果如下：1) 提出侧链工程策略解决石墨烯纳米带液相加工及组装难题，实现其液相分散性突破及溶液可控自组装，为功能调控奠定基础 [1-4]。2) 提出精准共组装策略，提升材料固态发光效率及能量转移效率，为克服聚集荧光淬灭 (ACQ) 及 ACQ 发色团能量转移效率提供新思路[5-11]。3) 采用环限域及智能调控协同策略，实现有机光/电分子的性能精准调控，首次揭示张力-智能调控间“构-效”关系；实现单分子手性连续放大及共轭大环手性的远程光控。相关工作作为调控有机光/电分子的分子间作用、可控组装和性质调控提供参考。

参考文献：

- [1] Huang, Y.; Mai, Y.; Yan, D.; Müllen, K.; Feng, X. J. Am. Chem. Soc. 2015, 137: 11602.
- [2] Huang, Y.; Xu, F.; Ganzer, L.; et al. J. Am. Chem. Soc. 2018, 140, 10416.
- [3] Huang, Y.; Dou, W.-T.; Xu, F.; et al. Angew. Chem. Int. Ed. 2018, 57, 3366.
- [4] Huang, Y.; Mai, Y.; Straasø, L. A.; et al. J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 10136.
- [5] Huang, Y.; Xing, J.; Gong, Q. Y.; et al. Nat. Commun. 2019, 10, 169.
- [6] Huang, Y.; Gong, Q.; Ge, J.; et al. ACS Nano, 2020, 14, 15962.
- [7] Huang, Y.; Wang, Z. R.; Chen, Z.; Zhang, Q. Angew. Chem. Int. Ed. 2019, 58, 9696.
- [8] Gong, Q.; Liu, B.; Yuan, F.; Tao, R.; Huang, Y.; et al. ACS Nano. 2023, 17, 23679.
- [9] Zhang, X.; Liu, B.; Xu, F.; Ning, L.; Zhou, Q.; Zhang, Q.; Mai, Y.; Gong, Q.; Huang, Y. Small. 2024, 2400220.
- [10] Zhou, Q.; Zhang, X.; Ning, L.; Song, Y.; Wang, Y.; Feng, J.; Sun, C.-L.; Li, J.; Gong, Q.; Zhang, Q.; Huang, Y. Small Methods 2024, 2401439.
- [11] Huang, Y.; Ning, L.; Zhang, X.; Zhou, Q.; Gong, Q.; Zhang, Q. Chem. Soc. Rev. 2024, 53, 1090.

D10-58

功能化改性球花 MoS_2 粉末涂料的制备及其防腐防污性能探究

余昊*

湖南大学机械与运载工程学院

利用全氟癸基三甲基硅烷(PFDMS)对多结构 MoS_2 进行疏水功能改性来增强填料的疏水性能,以填料改善有机涂层的防腐防污性能;利用超疏水填料/粉末涂料体系制备超疏水涂层,实现涂层的长效防腐防污。本文对 PFDMS- MoS_2 的改性和树脂的选择进行了探究。以高粘度涂层和分散介质为空气这两点作为突破口,采用了粉末环氧树脂以及粉末聚酰胺树脂来进行超疏水涂层的制备。水/油接触角测试探究了 PFDMS 对不同形貌结构 MoS_2 的改性效果,最后通过水接触角以及 EIS 测试对 PFDMS-空心球花 MoS_2 材料对粉末环氧树脂(粉末 环氧树脂)性能的提升做出评估,得到最佳填料选择和制备比例。

D10-59

聚合物复合热电材料及其自供能物联网火灾预警研究

陈光明*

深圳大学

近十余年来,有机聚合物/无机纳米粒子复合热电材料与器件研究发展迅猛,已成为高分子材料与能源科学领域的前沿热点之一。首先简要介绍聚合物基复合热电材料的基本概念与发展历程,然后系统论述我们课题组近十余年来在聚合物/无机纳米粒子复合热电材料、柔性器件设计与应用场景等系类研究结果,重点讲述基于复合热电材料在自供能物联网火灾预警应用场景的研究结果,最后对该领域的发展前景进行展望。

参考文献:

1. Q. Sun, C. Du, G. Chen, Prog. Mater. Sci., 2025, 149, 101402.
2. Z. Ding, C. Du, W. Long, C.-F. Cao, L. Liang, L.-C. Tang, G. Chen, Sci. Bull., 2023, 68, 3261-3277.
3. Z. Ding, G. Li, Y. Wang, C. Du, Z. Ye, L. Liang, L.-C. Tang, G. Chen, Nano-Micro Lett., 2024, 16, 242.
4. G. Li, Y. Hu, J. Chen, L. Liang, Z. Liu, J. Fu, C. Du*, G. Chen*, Adv. Funct. Mater., 2023, 33, 2303861.

D10-60

高分子材料加工中取向态结构设计与表征

钟淦基*, 李磊, 尹进, 林浩, 李忠明

四川大学, 四川省成都市武侯区一环路南一段 24 号 610065

高分子材料只有通过加工成型才能获得有使用价值的制品。在加工过程中设计特定取向态结构是实现高分子材料高性能化与功能化的重要途径,在国民经济和重大需求领域发挥关键作用。然而,取向态结构形成与所受流动场、温度场及压力场等外场作用密切相关,外场作用强度高、时间短且互相耦合,难以准确解析多外场耦合下的取向态结构生成规律。此外,取向态结构呈现典型多尺度性和多样性,与制品性能存在非线性关系,如何精确调控取向态结构生成并明确构效关系具有很大挑战性。[1] 因此,本报告将介绍近期在多尺度取向态结构高效设计和高通量在线表征方面的研究进展,具体包括:(1)构建高通量在线表征研究方法解决取向态结构快速演变难追踪的研究难题,看清多尺度取向结构在强外场耦合下的毫秒级生成动力学;[2, 3] (2)通过多外场耦合作用高效设计取向态结构,建立非晶、晶体及分散相等多尺度结构取向方法,突破材料性能瓶颈,获得常规加工不能兼得的优异综合性能。[4, 5]

参考文献:

- [1] Gan-Ji Zhong, Shu-Gui Yang, Jun Lei, Zhong-Ming Li. Macromolecules 2024, 57 (3): 789.
- [2] Jin Yin, Jie Zhang, Zheng-Yuan Chen, Lu-Feng Deng, De-Zhuang Jia, Hao Lin, Jia-Zhuang Xu, Hua-Dong Huang, Jun Lei, Gan-Ji Zhong, Zhong-Ming Li. Macromolecules 2024, 57 (21): 10192.

[3] Jin Yin, Lu-Feng Deng, Guo-Qi Ma, Feng-Yang Wu, Jia-Zhuang Xu, Xue-Qin Gao, Feng-Gang Bian, Jun Lei, Gan-Ji Zhong, Zhong-Ming Li. *Macromolecules* 2023, 56 (11): 411S1.

[4] Hao Lin, Yuan Chen, Xin-Rui Gao, Ling Xu, Jun Lei, Gan-Ji Zhong, Zhong-Ming Li. *Macromolecules* 2023, 56 (6): 2454.

[5] Lei Li, De-Zhuang Jia, Zhao-Bo Sun, Sheng-Yang Zhou, Kun Dai, Gan-Ji Zhong, Zhong-Ming Li. *Small* 2024, 20 (42): 2402842.

D10-61

高分子介导氧还原电催化剂

袁凯*

南昌大学

空气电极氧还原反应（ORR）电催化剂性能是决定锌空电池器件能效的关键因素，目前商业化铂基催化剂的稀缺储量严重阻碍了器件大规模应用。过渡金属单原子催化材料具有高的 ORR 催化活性，但要走向实际应用，其 ORR 性能还有待进一步提升。采用异质原子掺杂、纳米聚集体诱导、不对称配位、轴向配位等策略，有效调控活性位点电子结构和几何结构等微环境，优化氧中间体的吸附，显著提升 ORR 催化性能。采用卟啉、酞菁等构筑单元，通过自下而上的化学合成方法，精准设计合成具有结构明确的催化剂，可为研究催化剂结构和性能之间的关系提供新思路，为高性能催化剂的设计提供指导。

参考文献

[1] Lan L., Yuan K.*, and Chen Y.*, *Adv. Mater.*, 2025, 37, 2417711.

[2] Huang B., Yuan K.*, Zhuang X.*, and Chen Y.*, *Nat. Commun.* 2024, 15, 6077.

[3] Huang M., Yuan K.*, Zhuang X.*, and Chen Y.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2025, e202501506.

[4] Li L., Yuan K.*, and Chen Y.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2023, 62, e2301642

[5] Tang X., Wei Y., Zhai W., Wu Y., Hu T., Yuan K.*, Chen Y.*, *Adv. Mater.*, 2023, 35, 2208942.

[6] Huang B., Yuan K.*, and Chen Y.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2023, 62, e2306667.

[7] Huang B., Yuan K.*, Zhuang X.*, and Chen Y.*, *CCS Chem.*, 2023, 5, 1876.

[8] Li L., Yuan K.*, and Chen Y.*, *Adv. Mater.*, 2024, 36, e202308326.

D10-62

低串扰电子皮肤阵列及其高保真盲文识别应用

达珍拉姆、杨俊龙*

四川大学高分子科学与工程学院

高空间分辨检测在触觉传感，人机交互等领域至关重要。然而实现柔性触觉传感的高密度集成，受制于空间分辨率与机械串扰之间的固有矛盾，灵敏度的提升又通常加剧相邻单元的信号耦合。本研究构建了梯度模量分布结构，结合有限元模拟，发现引入梯度应变隔离板（G-S board）使横向应力呈指数衰减，而竖向应力传导效率维持 78%，重构了应力传导路径，同时建立归一化的信噪比指标（ $SCR=S_0/(C \cdot p)$ ）量化了器件优值。实验表明，该设计使 3 mm 分辨率阵列的串扰系数从 85% 降至 4.39%，维持灵敏度 3.92 kPa^{-1} 并拓展传感范围至 400 kPa。串扰的抑制尤其有利于涉及触觉识别压力检测的应用场景，在盲文识别应用中，该传感器阵列对 0.5mm 点高、2.8mm 点距的国标盲文字母辨识准确率达 99%，为盲文辅助学习提供了参考。

D10-63

用于强宽带微波吸收的聚酰亚胺衍生碳/石墨烯杂化气凝胶微球

蔡易凡 1、王占华 1、费国霞 1、Marino Lavorgna²、夏和生*¹

1. 四川大学先进高分子材料全国重点实验室，高分子研究所

2. 意大利国家研究委员会, 聚合物、复合材料和生物材料研究所

石墨烯基气凝胶微球(GAMs)由于其优异的阻抗匹配和高损耗能力而成为有效的电磁波(EMW)吸收剂。GAMs 目前发展所面临的挑战是提高其介电损耗和机械强度以满足实际应用的要求。本工作通过高压喷雾、冷冻成型、冷冻干燥、原位热还原和酰亚胺化以及高温热解制备了聚酰亚胺衍生碳/石墨烯杂化气凝胶微球(PI~NC-GAMs)。由于 PI 衍生碳层的增强和支撑作用, 所制备的具有低堆积密度的超轻杂化 PI~NC-GAMs 具有良好的压缩强度, 在压缩应变为 40%时约为 10.67 kPa, 远优于空白组的纯还原氧化石墨烯气凝胶微球(rGOAMs)。另外 PI~NC-GAMs 也是超轻及高效 EMW 吸收剂的有效候选材料, 样品在 3.43 mm 厚度和 1 wt% 的 GAMs 填充量下, 在 9.16 GHz 显示出-63.6 dB 的最小反射损耗, 并在 2.57 mm 厚度显示出 7.45 GHz (10.55-18 GHz)的最大有效吸收带宽(EAB)。PI~NC-GAMs 的高效 EMW 吸收性能源于杂化气凝胶微球的多级孔结构导致的多重散射, 良好的阻抗匹配, 丰富的偶极/界面极化以及增强的导电性能。

D10-64

Deciphering Polymer Mechanics: Can Small Molecule Calculations Serve as Reliable Predictors?

Xu Wang*

Shandong University

Over the past decades, polymer property prediction through computation has faced challenges such as reliance on large databases, low efficiency, and limited accuracy. In this study, we reveal a significant linear correlation between the binding energies of supramolecular fragments and the mechanical properties of polyurethane elastomers, offering a novel strategy to predict macroscopic performance via simple molecular calculations. Experiments confirm that the best-performing elastomer achieves a toughness of 1.1 GJ m^{-3} , with high strength, optical transparency, scalability, self-healing ability, and recyclability. Its cost-performance ratio is twice that of commercial counterparts, highlighting its potential in demanding applications. This approach guides synthesis, lowers experimental risks and costs, and enhances our understanding of supramolecular interactions. Crucially, it bridges small molecule behavior with macroscopic properties, advancing theoretical modeling and accelerating high-performance material discovery. While broader applicability needs further validation, this work marks a significant step forward in rational polymer design.

D10-65

一锅法合成动态碳硫键交联的高性能双马来酰亚胺 vitrimer

陈茂*

中国工程物理研究院化工材料研究所

类玻璃高分子(vitrimer)因能够赋予传统热固性高分子可回收、可再加工、可修复、可拆解等独特性质而得到广泛的研究和关注。然而, 高性能 vitrimer 的设计开发往往需要特殊动态键单体的精心设计和复杂合成, 非常不利于其规模化制备和应用。在此, 基于商品化多元硫醇单体与传统双马来酰亚胺树脂, 我们通过一锅法合成了动态碳硫键交联的高性能双马来酰亚胺 vitrimer。该材料固化成型后展现了优异的耐溶剂型, 以及出色的力学和热学性能, 玻璃化转变温度~131 度, 常温模量 3.1GPa, 拉伸强度 80.4MPa, 断裂伸长率~12.2%。同时, 因动态碳硫键的生成, 该材料中形成的动态交联网络在高温或化学刺激下表现出 vitrimer 独有的动态特性, 包括应力松弛、蠕变、多重形状记忆、化学可拆解以及可闭环回收等特性。与此同时, 我们通过小分子模拟对新型动态碳硫键的生成动力学、交换反应以及解离过程进行了详细的研究, 证实了碳硫键在热或化学刺激下的可逆性。本研究为高性能 vitrimer 的开发和应用提供了更加开阔的设计思路和技术途径, 有助于推动绿色可持续型热固性高分子的发展和应用。

D10-66

可控解离聚合物

王占华*

四川大学

化学交联可以提高聚合物材料的力学性能、耐溶剂性、热稳定性、抗蠕变等综合性能。永久交联产生的三维网络结构在带来优异性能的同时,也带来了不熔不溶的难题,损伤后难修复,废弃后难回收,造成环境污染和资源浪费。在本研究中,通过在共价交联聚合物网络中引入解离式动态共价键或者可解离化学基团(如脲键、酰胺基脲键、亚胺键、苄基醚键、 β -羟基酯键、缩醛键等),研制了多种自修复、可回收、易降解化学交联弹性体和热固性树脂及其纤维增强复合材料。在外界特定刺激下,利用动态共价键的可逆解离-缔合反应实现了化学交联弹性体的自修复和再加工(物理回收);同时利用可解离化学基团和有机小分子的交换反应实现了热固性树脂及其纤维增强复合材料的可控降解和化学回收,利用可控解离为传统热固性聚合物及其纤维增强复合材料的降解回收和再利用提供了解决思路。

D10-67

基于实验与分子动力学模拟的改性硼酚醛树脂复合摩擦材料性能演变机理研究

段斯元、赵盖*

南京航空航天大学

酚醛树脂以其优异的性价比在工业上得到了广泛的应用。但其机械性能、热学性能和摩擦学性能有待提高。设计并制备了六方氮化硼(h-BN)/碳纤维(CF)/二硫化钼(MoS₂)复合改性硼酚醛树脂(BPF)基复合材料。系统的调查进行了研究如何改变量的 h-BN 影响复合材料的机械强度,摩擦行为和热性能。通过分子动力学模拟探讨了强化机理。随着 h-BN 含量的增加,复合材料的硬度增强,而抗冲击性能呈下降趋势。提高了材料的热稳定性和导热性。复合材料的摩擦系数和磨损率均呈现先下降后上升的趋势,当 h-BN 含量为 6wt.% 时达到最低。通过磨损形貌分析,发现 h-BN 的富集导致了复合材料磨损率的增加,从而影响了复合材料的结合性能。模拟结果表明,随着 h-BN 含量的增加,硼酚醛树脂基体与 h-BN 的相互作用强度增强。当填充剂浓度分别为 0、2、6、10% 时,体系的均方位移(MSD)先下降后上升。这为硬度和磨损率的变化在分子水平上提供了理论支持。该研究为设计高性能硼酚醛树脂基复合材料提供了指导。

D10-68

阻燃低介电活性酯在环氧树脂中的应用

宋亮*、付振烨

山东科技大学

电子封装材料对低介电损耗、高阻燃性及优异热稳定性的需求日益迫切。传统活泼氢类固化剂因引入大量仲羟基,导致环氧树脂固化物介电性能劣化与吸水率升高,其易燃性亦限制了其应用。本研究针对上述瓶颈,设计合成了几种含不同功能基团(磷氧结构、联苯、萘环)的活性酯固化剂,通过分子结构设计赋予环氧树脂本征低介电与阻燃特性,系统研究了固化物的介电性、耐热性、阻燃性及吸湿性能。

基于 DPO-HQ 与 DOPO-HQ,通过酰氯酯化反应制备了磷系活性酯固化剂 DPO-HQ-AE 与 DOPO-HQ-AE。与商用活性酯共固化后,环氧树脂固化物介电损耗较未改性体系降低,吸水率低至 0.32%-0.45%,且通过 CCT 与 TG-IR 验证了气相阻燃机制。引入联苯结构合成 2,2'-DB-AE 活性酯,结合 DPO-HQ-AE 共固化体系,获得了 T5% 为 389 ℃ 的热稳定性材料,1 GHz 介电常数与损耗低至 2.22 与 0.0074,热膨胀系数显著降低。通过引入萘环结构合成 1,6-DN-AE 活性酯,固化物在介电常数 2.20、损耗 0.0076,48 h 吸水率 0.53%,磷含量 1.2 wt.% 时达到 UL-94 V-0 阻燃等级。研究表明,含磷氧结构活性酯通过气相阻燃机制提升阻燃性,联苯 / 萘环结构通过刚性芳环降低分子极性与极化率,协同实现介电性能优化。本研究为电子封装用高性能环氧固化物体系的设计提供了新策略。

墙报

D10-P01

水性聚氨酯/银纳米线电磁屏蔽材料

孙嫣然、战艳虎*

聊城大学

植物油基水性聚氨酯 (WPU) 复合薄膜因兼具柔韧性与环境友好性, 在电磁干扰 (EMI) 屏蔽和热管理领域极具潜力, 但其制备仍面临挑战。本研究通过密度诱导效应设计银纳米线 (AgNWs) 的双层梯度分布结构, 成功开发出蓖麻油基 WPU/AgNW (c-WPU/AgNW) 复合薄膜, 实现了 EMI 屏蔽与热管理性能的协同提升。AgNWs 的梯度分布使其在薄膜底部形成致密的导电-导热网络, 赋予材料显著特性: 电导率达 $64.1 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, 低填料含量下 (9 wt.%) EMI 屏蔽效能达 58.1 dB, 面内导热系数为 $1.67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。该梯度结构设计为开发可持续柔性功能材料提供了新策略, 在柔性电子器件领域展现出应用潜力。

D10-P02

微波辅助 NaOH 一步法制备竹基木质纤维素及其改性聚乙烯醇薄膜的研究

张家玉、刘恩慧、汪玄、李莉*

先进高分子材料全国重点实验室 (四川大学)

生物质材料的资源化、材料化利用是解决我国资源和能源短缺的重要途径。生物基纤维素及其高附加值产品在全球范围内备受瞩目, 但目前从生物质中生产纤维素及其衍生物的流程复杂, 水量消耗大, 且依赖于对环境有害或成本高昂的化学试剂, 限制了其可持续性发展。据此, 本文采用高浓度氢氧化钠 (NaOH) 与微波加热相结合的策略, 利用微波在分子尺度上激发的高穿透、高热效率, 加速高浓度 NaOH 去除竹基微纤维表面的木质素和半纤维素, 并利用 NaOH 的终止反应缓解纤维素降解, 实现从竹粉 (BP) 短时一步提取木质纤维素, 具工艺简单、环保、成本低、水资源利用率高 (液固比约 3.3:1, 仅需一步洗涤) 等优点。基于该方法, 成功制备了兼具一维纤维状和二维片状结构的木质纤维素微纤维 (LCMF), 主要由 74% 的纤维素、6.5% 的木质素和 17.5% 的半纤维素组成。该 LCMF 可与环境友好的聚乙烯醇 (PVA) 形成良好复合, 其中, 高比例的片状木质纤维素有助于改善 LCMF 与 PVA 间相互作用, 半纤维素也可通过空间位阻和电荷排斥进一步增加 LCMF 的分散稳定性, 有效发挥其增强作用, 使 PVA/LCMF 复合薄膜的拉伸强度从 51.5 MPa 提升至 67.8 MPa; 木质素则改善了复合薄膜的吸水率 (从 123.7% 下降至 97.7%) 和紫外线透过率 (从 76.3% 下降至 16.3%)。归因于 PVA 自身优异的氧气阻隔性, 复合薄膜氧气阻隔性能达 $4.2 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ 24h } 0.1\text{MPa}$, 优于常规阻隔用膜材料, 如 PEN ($5-10 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ 24h } 0.1\text{MPa}$), PA6 ($40-80 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ 24h } 0.1\text{MPa}$), PET ($16.95-43.2 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ 24h } 0.1\text{MPa}$), 等。本研究为竹基纤维素的大规模利用提供了重要支撑, 所得 PVA/LCMF 复合薄膜有望成为一种具环保优势的高阻隔包装材料。(感谢国家自然科学基金 (U21A2091) 对本研究的资助)

D10-P03

新型室温磷光粘合剂的研究

李楠 1,2、兀琪 1,2、吴锦荣*1,2

1. 四川大学望江校区高分子科学与工程学院
2. 先进高分子材料全国重点实验室

聚合物材料早期微损伤的精准检测与定量评估, 是延长使用寿命、预防灾难性故障及优化维护成本的核心挑战。然而, 传统的损伤检测方法因操作复杂、需破坏性取样及成本高昂等问题, 难以满足工程现场应用需求。在此, 我们通过硼-氧点击反应策略成功开发出兼具超长室温磷光与稳定界面粘接的新型室温磷光粘合剂 (RTPA), 在商用粘合剂体系中实现 1.931 秒的超长磷光寿命。此外, 动态硼-氧共价键与氢键网络协同作用赋予了 RTPA 对各种基材卓越的粘合能力, 从而大大扩展了其在工业层压材料粘合剂中的应用。

值得注意的是, RTPA 兼具结构粘接能力与室温磷光自检测优势, 突破了传统检测技术对停机拆解和接触式探伤的依赖, 为航空航天系统中结构微损伤的原位监测提供了一种有效的解决方案。因此, 这项工作作为原位微损伤可视化策略提供了一种实用、高效的多功能自检测粘合剂, 使 RTPA 成为结构健康监测和柔性显示应用的潜在候选材料。

D10-P04

固相剪切磨磨高值高效回收废弃质聚氨酯泡沫的研究

谢洪锂*

四川大学先进高分子材料全国重点实验室

聚氨酯泡沫 (PUF) 因其低密度和卓越的机械性能而受到重视, 已在工业领域得到广泛应用。然而, 随着需求的增长, 大量废弃物的产生引发了环境问题。为了实现碳中和目标, 本研究提出了一种通过固态剪切磨粉 (S3M) 技术回收刚性聚氨酯泡沫 (R-PUF) 废弃物的可持续策略。该机械化学过程成功将 R-PUF 的平均粒径减小至 $55.91\ \mu\text{m}$, 并促进了分子链的运动, 表现为分子链的重组和表面粗糙度的增加。处理后的聚氨酯粉末经过硅烷偶联剂的功能化处理后, 重新引入到多元醇基质中, 形成了化学交联界面, 显著提升了复合材料的性能。系统研究表明, 磨粉次数对表面功能基团和粉末形态有重要影响, 而最佳的机械性能在 3% 重量比的填料负载下达到, 压缩强度从 1.2 MPa 提升至 1.3 MPa。硅烷改性进一步增强了材料的压缩强度。硅烷改性使压缩强度比未经处理的 R-PUF 和未改性的磨粉提高了 80% ($0.5 \rightarrow 0.9\ \text{MPa}$)。这些增强效果主要归因于通过硅烷介导的共价键实现的机械化学热塑性和界面粘结的恢复。这项研究确立了 S3M 作为一种环保高效的方法, 将热固性泡沫废物转化为高价值复合材料, 推动了聚合物回收领域的循环经济原则。

D10-P05

基于分子缝合的高粘附伤口敷料制备与性能研究

高梦婕、杨俊龙*、杨其

四川大学高分子科学与工程学院

伤口敷料对早期出血控制以及促进伤口愈合具有重要意义。现有伤口敷料构建粘附时间长, 粘附能低以及长时粘附稳定性差, 主要是由于现有研究实现强粘附依赖于共价键, 受限於特定官能团。以物理缠结为主的拓扑粘附策略由于分子链运动受限, 需长时松弛完成拓扑缠结, 耗时且效率低下。本研究基于此, 从调控缝合分子运动出发, 提出磁场诱导的分子扩散思路, 大幅提升粘附效率, 短时间内可以完成高粘附, 1 分钟粘附能可达 $129\ \text{J/m}^2$, 8 小时粘附能最高可达 $2270\ \text{J/m}^2$ 。研究证明, 磁性驱动缝合分子可显著缩短拓扑粘附形成时间并提升粘附强度, 展现出该材料作为高性能伤口敷料在生物医用领域的潜力。未来工作将进一步探索双侧驱动粘附与体内生物相容性验证, 以实现高效粘附。

D10-P06

阻燃 MXene 基多孔功能材料及其红外隐身/传感性能研究

方存炯、刘鹏举*、陈文华

华侨大学

在多孔海绵骨架上负载纳米粒子是一种简单有效的制备多功能柔性复合材料的方法, MXene 基多孔材料具有高效的导电网络、可调的表面性质和多层次结构, 在电磁屏蔽、能量转化、应力传感、储能催化等方面展现出潜在的应用价值。常用聚合物海绵基体易燃, 尤其应用在高度集成的功能器件上, 因过热极易燃烧引发火灾, 因此, 提高 MXene 基多孔材料优异的阻燃性能具有十分重要的理论和实际意义。高比表面积的片状 MXene 因“迷宫效应”能延长气体和热量扩散路径, 具有一定的阻燃效果, 通过配伍、改性等方法可进一步提高 MXene 基多孔材料的阻燃性能。针对以上问题, 本工作基于多级结构设计和非共价改性,

通过 π - π 相互作用将六苯氧基三磷腈插层于 MXene 片层间, 采用层层浸泡-包覆方法将改性 MXene 负载在三聚氰胺海绵骨架上。得益于 HPTCP 组分协效和多层次结构, MXene 基多孔海绵具有优异的阻燃性能、燃烧形状稳定性、出色的隔热性能和灵敏的应力传感性能。总而言之, 本工作提供了一种优异阻燃性能的柔性多孔功能材料的制备方法, 使其具有增强的功能稳定性和更广泛的应用领域。

D10-P07

自修复抗冲击聚联硼硅氧烷复合材料的设计与制备

张璐薇 1,2、吴锦荣*1,2、兀琪 1,2

1. 四川大学高分子科学与工程
2. 先进高分子材料全国重点实验室

聚联硼硅氧烷 (PDBS) 含有丰富的联硼氧动态键, 表现出优异的剪切硬化效应与抗冲击性能, 在人体防护、精密仪器保护等领域具有广泛的应用潜力, 然而 PDBS 本身较差的力学性能极大限制了其在各领域的实际应用。我们通过溶液共混法成功制备了碳纳米管 / 聚联硼硅氧烷复合材料, 并进一步探究了不同结构碳纳米管对复合材料抗冲击性能的影响。结果表明, 复合材料的力学强度和抗冲击性能较 PDBS 大幅提升。此外, 复合材料中 PDBS 的动态网络结构赋予材料良好的自修复性能。本研究为碳纳米管增强的自修复抗冲击材料的研究提供研究基础和思路。

D10-P08

基于弹性蛋白启发诱导微相分离的具有协同弹性和强度的低熵罚弹性体

白常成、王晓龙*

中国科学院兰州化学物理研究所

弹性体中弹性和强度的内在权衡关系始终是一个重大挑战, 因为软硬网络难以协调。在本研究中, 受蜻蜓表皮中弹性蛋白的异质结构启发, 我们引入了一种分子工程方法来调节微相分离, 通过构建具有明确尺寸、最佳间距和均匀聚集的动态硬域。在变形过程中, 动态硬域逐渐分解, 同时应变诱导结晶 (SIC) 在软段中发生。这一过程由熵-焓补偿机制调控, 以最小化净吉布斯自由能 ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$), 从而在熵增益 ($\Delta S \uparrow$) 与焓释放 ($\Delta H \downarrow$) 之间建立协同平衡。焓释放源于 SIC 诱导的晶格有序化。恢复过程中, 可逆 SIC 界面释放储存的界面吉布斯能 (ΔG_s), 以补偿构象熵损失 ($-T\Delta S$), 从而促进分子重排。因此, 所提出的弹性体具有极小的熵惩罚, 并实现超过 88% 的恢复效率, 同时达到超过 80 MPa 的创纪录拉伸强度。此外, 弹性体展现出卓越的韧性、抗撕裂强度和抗穿刺性能。这种低熵损失策略为解决弹性体中的弹性与强度矛盾开辟了道路, 推动了工程应用中功能性弹性体机器的发展。

D10-P09

微波快速制备氮掺杂石墨烯及其电学性能研究

何彬强、刘鹏举*、陈文华、王士斌

福建省厦门市集美区集美大道 668 号华侨大学

石墨烯因其独特的二维结构和卓越的电学、热学、力学及光学性能, 成为研究热点。氮原子掺杂是一种既能保持纳米石墨烯 π 体系完整性, 同时又能显著调控其物理化学性质的有效策略。通过氮原子掺杂对石墨烯进行改性, 能够进一步调控其物理和化学性质, 拓展其在电子器件、能源存储、复合材料等众多领域的应用潜力。然而, 传统的氮掺杂方法, 如管式炉加热、化学气相沉积和球磨法等, 存在反应时间长、能耗高、溶剂用量大等问题, 限制了高质量掺杂石墨烯的大规模制备和实际应用。本研究成功开发了一种高效且可扩展的氮掺杂石墨烯制备方法, 突破了传统方法高能耗、工艺复杂等局限, 以满足石墨烯在高性能应用领域的需求。通过在氧化石墨烯 (Graphene Oxide, GO) 中引入少量石墨烯作为微波吸收剂, 将 GO、石墨烯与含氮化合物混合后进行快速微波处理, 实现了 10 s 超快速一步 GO 还原及氮掺杂。对制得

的样品进行实验表征测试后, 分析测试结果发现用微波制备的样品因为氮掺杂促进了新活性位点的形成, 极大地提升了电极与电解质间的电子转移效率, 从而改善了电化学性能, 使其具有良好的导电性以及电热性能, 并且探讨出最佳的掺杂条件。总而言之, 本工作从材料制备角度为高性能氮掺杂石墨烯材料的开发提供全新思路。

D10-P10

高强高韧 PBAT/PLA/木质素复合材料的制备及性能研究

曾馨蓉 1、湛瑞 1、石玲英 2、杨科珂*1、王玉忠 1

1. 四川大学化学学院, 环保型高分子材料国家地方联合工程实验室, 教育部环境与火安全高分子材料协同创新中心, 环境友好高分子材料教育部工程研究中心, 四川成都, 610064
2. 四川大学高分子科学与工程学院, 高分子材料工程国家重点实验室, 四川 成都 610065

因具有优异的可生物降解性和规模化生产优势, 聚(对苯二甲酸-己二酸丁二酯)(PBAT)和聚乳酸(PLA)成为当今生物降解材料市场应用最广泛的产品。从力学性能来看, PBAT 具有优异的韧性但强度不高, 而 PLA 强度高但韧性不理想, 两者具有很强的互补性。结合两者优势开发高强高韧的复合材料具有更高的应用价值, 然而 PBAT 和 PLA 之间的相容性较差, 通过简单的机械共混往往造成力学性能的恶化, 无法满足应用需求。本研究以商品化 PBAT 和 PLA 为原料, 采用五亚甲基异氰酸酯为偶联剂、羟基化木质素为动态交联剂, 在高剪切流场下协同构筑具有微交联结构的高强高韧 PBAT/PLA/木质素复合材料。通过调节木质素含量、预反应及后交联温度和时间, 有效调控 PBAT/PLA/木质素复合材料中交联网络的含量(凝胶含量在 20%~85%范围内可调)。木质素作为交联点和刚性增强剂, 极大地提高了材料的强度和韧性, 当其引入量为 1 %时, 材料的拉伸强度和断裂伸长率分别达到 56.7 MPa 和 1200 %。微观形貌和热性能分析表明, PBAT 和 PLA 之间的相容性得到明显改善, 两相间的界面相互作用增强。在线流变分析显示, 木质素协同构筑的动态网络使得材料在高、低频区的黏弹性增加, 熔体强度显著提高。此外, 利用木质素的固有特性, 复合材料表现出较好的紫外线屏蔽性能。松弛实验发现该材料中网络具有动态性, 多次再加工实验证明该材料具有较好的可再塑性。这研究不仅为高性能 PBAT/PLA 可生物降解材料提供了一种降本增效的制备方法, 还推动了木质素的可持续和高价值应用。

D10-P11

二硫键与氢键协同作用构建快速应力释放环氧树脂

杨博、刘丽莉*

西南科技大学

传统环氧树脂具有永久性的三维交联网络, 受外力作用时易产生应力累积, 形成微裂纹, 最终导致严重后果。目前主流解决方法有引入柔性链段、纳米填料和动态键等, 引入动态键不仅改善了环氧树脂应力释放的问题, 而且能为体系带来自修复、可循环的特性。

本研究通过向双酚 A 二缩水甘油醚 (DGEBA) 中引入含有动态二硫键的 4,4'-二氨基二苯二硫醚 (DTDA) 以及含有动态氢键的 UPy-D400 的固化剂, 通过动态共价键与动态非共价键的协同作用, 实现材料力学性能与动态响应能力的平衡, 制备温和条件下快速应力释放的系列环氧树脂 (DGEBA-Sx-UPyy)。结果表明, 双动态键结构对材料的应力松弛具有协同促进作用, 单固化剂树脂 DGEBA-S1.0 和 DGEBA-UPy1.0 均无法在 140°C 下实现应力松弛, 而不同交联剂配比的 DGEBA-Sx-UPyy 树脂均可实现。其中, DGEBA-S0.8-UPy0.2 具有 76.6 MPa 的拉伸强度和 21.63% 的断裂伸长率, 在 200°C 下 $\tau = 23s$, 实现了快速应力松弛, 活化能为 112.13 kJ/mol。此外, 系列环氧树脂 DGEBA-Sx-UPyy 均能在 150°C 下 30min 实现划痕的快速修复。

D10-P12**壳聚糖季铵盐改性 PAO 纤维抗菌及铀吸附性能研究**

刘文同、刘丽莉*

西南科技大学

海水提铀技术受全球能源需求增加、核能需求增长与陆地铀资源困境的多重驱动，在最近几年发展迅速。作为海水提铀的核心，提铀材料在海水中工作需要面临长期海浪冲刷，容易被破坏；同时众多的微生物、藻类和动植物等，会在材料表面富集或破坏材料表面结构，导致材料的提铀性能降低。采用聚丙烯腈纤维作为基材，引入抗菌基团、抗菌金属离子或者采用光催化抗菌等方法能解决这些问题。本文通过水浴法将壳聚糖季铵盐接枝到聚丙烯腈纤维表面，得到抗生物污损纤维，随后再将该纤维经过脲化处理，接枝脲胺基，制备得到具有抗生物污损和高效吸附的双功能纤维。该纤维对高浓度的大肠杆菌(106 CFUml^{-1})抑制率达到 99.7%，并且在 25°C ， $\text{pH}=7$ ， 10ppm 的加铀海水中吸附 3 天后吸附容量达到 140mg/g ，并且在 10ppm 的铀溶液中吸附 3 天后吸附量达到 361.49mg/g 。

D10-P13**具有高强度和高模量的自修复聚二甲基硅氧烷弹性体**

张灵、马文博、王占华、夏和生*

四川大学先进高分子材料全国重点实验室

高强度自修复聚二甲基硅氧烷(PDMS)弹性体在恶劣环境中发挥着重要作用。如何提高自修复 PDMS 的强度是自修复聚合物发展的一大挑战。提供动态可逆性和多个氢键的酰基氨基脲(ASC)基团可以在动态下赋予聚合物基质优异的机械性能，但是 ASC 基团和 PDMS 之间的极性差异会影响材料的聚集结构，从而影响材料的性能。如何将具有不同极性的 ASC 基团引入 PDMS，在很大程度上仍未被探索。在这里，我们提出了一种合成策略，成功制备了一种透明的自修复 PDMS 弹性体，具有优异的拉伸强度(17.2MPa)、超高的弹性模量(20.1MPa)和 80% 的良好自修复效率。这种高强度、高模量的 PDMS 不仅允许其在更苛刻的环境中使用，而且由于其独特的透明度，还可以用作粘合透明板的可逆粘合剂。

主要参考文献：

D10-P14**Selective Laser Sintering 4D Printing of Dynamic Cross-linked Polyurethane Containing Diels–Alder Bonds**

Xiwen He, Hao Ouyang, Xue Li, Xili Lu, Hesheng Xia*

State Key Laboratory of Advanced Polymer Materials (Sichuan University)

Selective laser sintering (SLS) four-dimensional (4D) printing of smart materials remains a big challenge and largely unexplored due to the lack of suitable materials. Here, we developed one kind of polyurethane containing reversible Diels–Alder bond (PUDA) covalent adaptable network (CAN) with self-healing and shape memory functions for SLS 4D printing. The dynamic mechanism of the Diels–Alder bonds was confirmed by 1H NMR and in situ FTIR. Furthermore, the kg-scale PUDA materials as well as their carbon nanotube (CNT) composite powders were prepared by the freeze grinding method. The SLS printed PUDA materials show nearly isotropic mechanical properties due to the improved interlayer interaction by dynamic cross-linking. The SLS printed PUDA/CNT composites possess NIR-triggered self-healing and shape memory functions. This study provides a paradigm for designing dynamic polymers/composites for SLS 4D printing.

D10-P15**废旧轮胎胶粉的脱硫再生及其与废弃聚氨酯弹性体的综合回收再利用**

周嗒悦、周泽航*、卢灿辉

四川大学高分子研究所

废旧轮胎胶粉和废弃聚氨酯弹性体作为固体废弃物的典型代表，通过恰当的回收方法实现二者的综合回收再利用对于绿色经济倡导的可持续发展战略具有重要意义。本文选择与废弃轮胎胶粉同源的轮胎热解炭黑（PCB）作为脱硫助剂，通过利用其出色的摩擦特性与吸波特性，成功实现了固相剪切研磨脱硫技术与微波脱硫技术的协同增效作用，从而制备得到兼具低粒径尺寸与高脱硫程度的脱硫胶粉（DRP）。同时，利用丙烯酸对高温作用下部分解交联的废弃聚氨酯弹性体（UPU）进行改性处理，得到分子链上含有大量可与硫磺反应的 C=C 的改性聚氨酯弹性体（M-UPU）。最后，通过向二者的共混体系中引入以硫磺为主要成分的硫化体系，进一步增强二者间的界面相互作用，从而制得了具有良好的机械性能的聚氨酯弹性体复合材料（M-UPU@DRP-S）。

D10-P16**基于刚性可调控--在超低温环境下具有超强机械性能的弹性体**

罗珂磊、陶立明*

中国科学院兰州化学物理研究所

针对极端低温环境下聚合物弹性体性能不足的挑战，我们设计并合成了一种刚柔并济的 HPU 弹性体，以聚丁二烯（HTPB）为软链段，赋予材料高柔韧性，以异佛尔酮二异氰酸酯（IPDI）及不同扩链剂（1,3-双(3-氨基苯氧基)苯、1,3-双(4-氨基苯氧基)苯、1,4-双(4-氨基苯氧基)苯、4,4'-二氨基二苯醚）形成硬段。硬段中的芳基结构通过氢键和 π - π 堆积作用形成刚性纳米结构域，与连续的 HTPB 基质形成微相分离结构，增强材料在室温和低温下的拉伸强度，同时破坏 HTPB 链段的分子规则性，抑制低温结晶，使材料在低温下仍具优异延展性。弹性体在室温下具有良好机械性能的同时，在低温下还表现出超高的拉伸强度（-70 °C 下约 66.6MPa）、断裂伸长率（-70 °C 下约 842.6%）和断裂韧性（-70 °C 下约 254.1 MJ/m³）。据我们所知，这是首个报道的弹性体能在不牺牲室温性能的同时，还在超低温环境下具有如此超强的机械性能。

D10-P17**纤维素增强 PAM 多级交联离子凝胶及在传感领域的应用**

冯烨、周泽航*、卢灿辉

四川大学高分子研究所

本研究通过多级交联策略设计了一种高性能纤维素/聚丙烯酰胺（PAM）复合离子凝胶。以离子液体（EMIM 乙酸盐）为导电介质，纤维素为增强相，结合 N,N'-亚甲基双丙烯酰胺（MBA）共价交联与动态氢键网络，构建了兼具高韧性、环境稳定性及灵敏传感功能的柔性材料。纤维素通过氢键与 PAM 形成互穿网络，显著提升力学性能，拉伸强度达 200 kPa（较纯 PAM 凝胶提高 300%），最大应变可达 1600%。离子液体赋予高离子电导率（10⁻² mS/cm），使其具有用作柔性传感器的必要条件。本研究通过“刚柔并济”的多交联结构设计，解决了传统离子凝胶力学强度与稳定性不足的瓶颈，为可穿戴传感、人机交互设备提供了新材料平台。

D10-P18**高性能全色室温磷光聚合物及运用**

郑言*

复旦大学

室温磷光聚合物材料 (RTP) 具有可修饰性强、制备简便等独特优势, 在柔性电子、信息加密等领域应用前景广阔。然而, 由于聚合物链结构柔性强, 其磷光性能往往呈现高量子产率 (ΦP) 与短寿命 (τP), 或长寿命与低量子产率的矛盾特性。本研究创新性地提出简单的策略, 将柔性弱 RTP 聚合物转化为兼具长寿命、高量子产率与高亮度的刚性聚合物。其中最优 RTP 聚合物 (PM1) 的 τP 和 ΦP 分别高达 2020 毫秒和 34.1%, 磷光亮度达 655.1 mcd/m²; 较其柔性本征聚合物 (P1) 分别提升 6.4 倍、5.3 倍和 10.2 倍, 性能指标亦显著超越既往本征型聚合物 RTP 材料。该刚性聚合物在强酸强碱中表现优异稳定性, 水中浸泡 30 天后仍保持性能稳定。基于刚性聚合物 PM1 开发的复合薄膜 (PM1-PVA) 可实现有机挥发性气体的高选择性识别。这项研究不仅展示了刚性聚合物以提高全色 RTP 系统性能的可行策略, 还为应用磷光薄膜检测挥发性有机化合物 (VOC) 提供了一条新途径。

D10-P19

基于强氢键对聚柠檬酸酯力学改性研究

骆云政、李照磊、万露*

江苏科技大

聚柠檬酸酯作为一类新型的生物可降解材料, 自从研发以来在医学领域获得广泛的研究, 以此为基材可制备出各种组织工程支架、生物可降解电子器件等。然而, 聚柠檬酸酯的力学性能较差, 且聚柠檬酸酯基植入物长期应用于体内湿环境(例如组织液、血液等)中, 难以满足临床应用要求。为此, 亟需对聚柠檬酸酯进行力学改性。当前, 对于聚柠檬酸酯力学改性的策略, 通常需要有毒催化剂引入或破坏材料原有的优势。对此, 我们课题组通过磷酸盐缓冲液(PBS)对聚柠檬酸酯进行处理, 使其交联网络中构建了大量的强氢键, 从而去提高其力学性能。基于该策略, 我们将聚(1,8-辛二醇-柠檬酸酯) (POC)的韧性提高了 109 倍, 甚至可将该生物可降解弹性体转化成生物塑料, 且其力学性能优于聚乳酸。更重要的是, 该策略具有普适性, 可适用于所有聚柠檬酸酯, 同时又保留其固有的特性和优势。

D10-P20

天然橡胶初加过程工中的氟修饰技术与高性能化策略

赵富春*、朱世江、廖双泉

海南大学 材料科学与工程学院, 海南海口, 570228

天然橡胶 (NR)是由高效环保的绿色工厂——“巴西橡胶树”合成的一种结构精妙、综合性能优异的生物物质高分子材料, 目前已被广泛应用于汽车和航空轮胎、高铁减震、密封传动、电缆保护、防护用品、医疗设备、工业传输带及日常生活等众多领域。然而, 由于其分子链不饱和双键等结构导致其耐环境劣化性能相对较弱, 这严重制约 NR 在某些苛刻环境条件下的特殊场景应用。针对天然橡胶极端环境下的服役需求, 近年来我们团队将具有优异稳定性的含氟结构组分通过简单的初加工改性方式引入到 NR 主链结构中, 对其分子链结构进行设计重构, 以从根本上显著提升 NR 在特殊环境下的服役性能。本文主要基于环境友好的熔融挤出和乳液法氟修饰工艺, 采用含氟丙烯酸酯单体, 通过原位反应性挤出法和乳液法对天然橡胶进行氟修饰, 制备了新型特种氟修饰天然橡胶 (FNR)。结果表明, 两种工艺均可有效重构天然橡胶侧链结构, 赋予天然橡胶卓越耐热氧、抗紫外线辐照、耐臭氧、耐酸碱、耐盐雾等含氟聚合物的性能特点。FNR 硫化胶在高浓度臭氧环境下, 老化裂纹出现时间显著延长至 NR 硫化胶的 200%以上, 在全合成机油中的溶胀度不足于 NR 硫化胶的 67%。相对天然橡胶硫化胶, 在强酸强碱溶液浸泡后, FNR 硫化胶的拉伸强度保持率显著上升。本工作为绿色、高性能化的特种天然橡胶制造提供了全新策略, 为高品质天然橡胶进行简单且环境友好的工业化提供了新途径和技术参考。本工作所采用的制备工艺过程不使用有机溶剂, 无复杂的后处理, 易于实现规模化的生产, 具有良好的工业应用前景。

参考文献:

1. Zhu S., Zhao F., Sun Y., et al.; Polym. Degrad. Stab., 2024, 228: 110916.
2. Wang C., Fu H., Fu Y., et al.; Polym. Adv. Technol., 2024, 35 (4): e6380.

3. Cheng S., Liu H., Li S., et al.; J. Appl. Polym. Sci., 2023, 140 (34): e54309.
4. Cheng S., Liu H., Cai J., et al.; Acta Polym. Sin., 2023, 54 (8): 1253-1261.
5. Liu H., Cheng S., Yang Y., et al.; Macromol. Chem. Phys., 2022, 223 (18): 2200100.
6. Guan J., Zhao F., Gu T., et al.; Polymer, 2020, 202: 122752.
7. Zhao F., Guan J., Bai W., et al.; Prog. Org. Coat., 2019, 131: 357-363.

D10-P21

聚合物电解质溶剂化结构调控助力长循环准固态锂金属电池

王国成、牛艳华*

四川大学高分子科学与工程学院

聚合物电解质是高能量密度和安全性固态锂金属电池的理想电解质。然而，传统醚基聚合物电解质由于锂离子传输动力学缓慢、电化学稳定窗口窄等问题，限制了其在锂金属电池中的实际应用。在此，本研究提出了一种由 1,3-二氧六环(DOX)和 3-甲基戊二酸酐(MA)原位聚合而成的醚酯共聚物 P(DOX-MA)，其兼具 $\text{Li}^+\text{-O}$ (醚) 强配位和 $\text{Li}^+\text{-O}$ (酯) 弱配位特征，不仅改善了聚合物电解质的锂离子传输动力学，而且酯基的引入还提高了聚合物电解质的稳定性。结果表明，该电解质具有较宽的电化学稳定窗口(5.28 V)，并通过理论计算证实其具有较低的 HOMO 能级。此外，P(DOX-MA) 电解质表现出阴离子主导的 Li^+ 溶剂化结构，其不仅提供了高的 Li^+ 迁移数(0.80)，还有助于形成稳固和富含无机物的固体电解质界面(SEI)，使得组装的锂对称电池在 0.5 mA/cm² 的电流密度下稳定循环 2000 h。基于该电解质组装的 Li|LFP 全电池在室温和高温(60°C)下具有好的循环性能。此外，组装的高压 Li|NCM811 全电池在室温和 0.5 C 的倍率下循环 100 圈后容量保持率 68%。这一策略将为通过溶剂化结构调控设计高性能聚合物电解质提供新思路。

D10-P22

基于剪切增稠液的聚乙烯醇凝胶薄膜的微观形貌及力学性能研究

王雨*、周晋宇

中国工程物理研究院化工材料研究所

聚乙烯醇(PVA)以其优异的生物相容性、可降解性、水溶性、耐溶剂性等特点在食品包装、生物医学及功能纺织品等领域展现出巨大的应用价值。但其较差的力学强度不足限制了其在工程领域的应用。本研究通过溶液共混法将剪切增稠液(STF, 由二氧化硅(SiO_2)粒子和聚乙二醇(PEG)组成)封装到 PVA 基体中，成功制备出一种新型的剪切增稠凝胶薄膜。该策略通过构建三维物理交联网络，不仅解决了 STF 常温下易流动和易泄露的问题，还显著提升了复合薄膜的力学性能。微观结构研究表明：在湿态凝胶中，50 wt.% SiO_2 体系主要呈现单颗粒(~360 nm)与小尺寸微米级团聚体(0.8-10 μm)共存的多级分散结构；干燥后，颗粒在 PVA 多孔骨架的孔洞界面处形成非均匀的浓度梯度分布，同时维持了 PVA 的三维多孔网络结构。当 SiO_2 含量增至 67.5 wt.%时，粒子间范德华力与氢键协同作用导致大尺寸微米级团聚体(20-110 μm)生成，且干燥后薄膜的平均孔径较 50 wt.%体系缩小约 36%。力学性能测试表明：含 50 wt.% SiO_2 的凝胶体系表现出最优的力学性能，其拉伸强度、断裂伸长率和韧性分别为纯 PVA 体系的 1.43 倍、8.4 倍和 9.2 倍。STF 的增强增韧机制可能源于四点：(1) PVA- SiO_2 、PEG-PVA 及 PEG- SiO_2 界面强氢键网络的形成；(2) 刚性 SiO_2 粒子的应力场叠加效应；(3) PEG 增塑作用促进分子链重排；(4) STF 可逆的能量耗能能力。

D10-P23

低太赫兹损耗聚苯硫醚/多面体低聚倍半硅氧烷纳米复合发泡材料

陈登阳，李光宪，龚鹏剑*

四川大学，高分子科学与工程学院，国家重点实验室高分子材料工程，成都 610065，中国

无线通信产业正向更高频段的电磁波段发展,太赫兹 (THz) 波段正成为下一代无线通信的目标频段。然而,太赫兹波段内极高的频率导致无线通信器件产生显著的信号损耗,因此对于具有超低介电性能的材料的需求愈发迫切。为应对这一挑战,本研究开发了一种具有超低介电性能的新型多孔纳米复合材料。该材料以聚苯硫醚 (PPS) 为基体,结合超临界二氧化碳 (scCO₂) 发泡技术和多面体低聚倍半硅氧烷 (POSS) 进行低介电改性。PPS 作为一种性能优异的特种工程塑料,由于其极低的熔体强度导致了其发泡十分困难,因此通过热氧化处理提高 PPS 的熔体强度,优化了 PPS 的发泡行为。同时值得注意的是,POSS 作为一种独特组分,对 PPS 的热氧化过程引入了复杂的耦合效应,显著影响了其发泡行为。通过优化这种耦合相互作用,所获得的多孔纳米复合材料不仅实现了显著优化的介电性能 (在 0.33 THz 下,介电常数低至 1.2,介电损耗仅为 0.0016),而且其太赫兹透过率从 65.9%大幅提升至 99.2% (@0.33 THz)。

D10-P24

无机盐溶液助力于电磁波吸收

贺杰, 龚鹏剑*, Chul B. Park, 李光宪*

四川大学高分子科学与工程学院

水作为维持生命的重要自然资源,在全球范围内循环流动,地球大气中含有约 1.3 万亿升水。本项工作通过冻干、热酰亚胺化以及溶液浸渍精心制备了无机盐-聚酰亚胺@水 (IS/PI@H₂O) 泡沫。本研究首次通过大气水收集技术开发了溶液基电磁波吸收材料。研究表明,IS/PI@H₂O 通过分子间和分子内氢键持续捕获大气水分子,导致溶液中水分子以结晶水和自由水的形式共存。此外,IS/PI@H₂O 随环境相对湿度 (40% - 90% RH) 的改变,电磁波耗散性能展现出卓越的自主调节能力。该研究通过大量实验和模拟结果证实,离子导电损耗和偶极极化损耗在整体电磁波耗散中的主导作用。在低湿度水平 (40% 和 60% RH) 下,水的偶极极化占主导地位;而在高湿度水平 (90% RH) 下,离子导电损耗得到增强。研究确定,IS/PI@H₂O 中的界面极化主要发生在 103 Hz 以下,而水的偶极极化则发生在 103 Hz 至 1010 Hz 之间。优异的偶极极化主要归因于自由水的取向。综上所述,这种独特的大气水收集策略制备的电磁波吸收材料,推动了电磁波领域的重大进展。

关键词: 电磁波吸收, 无机盐溶液, 大气水收集, 离子导电损失, 偶极极化

D10-P25

3D Printing Two-Component Liquid Silicone Rubber via Direct Ink Writing

Dan Ji, Zhanhua Wang* and Hesheng Xia*

State Key Laboratory of Advanced Polymer Materials, Sichuan University, Chengdu, 610065, China

Liquid silicone rubber (LSR) is widely used in various industries due to its excellent chemical and thermal stability, biocompatibility, and processability. However, traditional manufacturing methods such as injection molding and compression molding have many drawbacks such as complex mold design, high production costs, and insufficient product precision. 3D printing combining the flexibility of elastomer with design freedom and precision becomes a promising method for processing silicone rubber. This study focuses on 3D printing of a commercial two-component LSR via the direct ink writing (DIW) technology. The process eliminates the need for ink modification or support baths. Through the testing of the curing kinetics of silicone rubber, it can be known that the most suitable printing temperature is 80 degrees Celsius. When the speed of Lamp-runs is 600mm/min, the temperature of the substrate after being irradiated by the halogen lamp is 80 degrees Celsius. By optimizing printing parameters, we successfully fabricated high-resolution and complex structures, including modular Bouligand dissipative structures. The mechanical properties of the printed samples were evaluated through tensile and compression tests, revealing that the optimized printing parameters significantly enhance the structural integrity and mechanical performance of the printed LSR. Under the optimized parameter including extrusion pressure of 3 MPa, printing speed of 90 mm/s, retraction speed of 1500 mm/min and lamp-runs speed of 600

mm/min, the mechanical properties of the structure can reach the optimum with the tensile strength as high as 9.75 MPa and elongation at break up to 800%. The fabricated modular Bouligand structures exhibited excellent energy absorption capabilities, with stress relaxation and cyclic compression tests demonstrating their potential for applications in impact protection and energy dissipation. This work provides a comprehensive understanding of the DIW 3D printing process for two-component LSR and highlights the potential of modular, bio-inspired structures in advanced engineering applications.

D10-P26

环境友好聚乙烯醇/秸秆复合薄膜的制备与性能研究

骈可一, 徐大伟, 王琪

先进高分子材料全国重点实验室(四川大学), 四川大学高分子研究所

塑料包装质轻, 便捷, 综合性能优异, 应用广泛, 但即用即弃, 难降解, 严重污染环境, 亟需发展新型环境友好包装材料。聚乙烯醇(PVA)环境友好, 安全无毒, 力学性能、阻氧性能优异, 可水溶, 且水溶液呈中性, 对土壤无害, 是极具潜力的环境友好包装材料。本文通过固相剪切碾磨和热塑吹膜技术制备了综合性能优异的水溶性聚乙烯醇/秸秆复合薄膜。固相剪切碾磨可实现农林废弃物秸秆与 PVA 的均匀复合和原位增容。秸秆含量增大, 复合薄膜的力学性能和亲水性提高。热塑吹膜过程影响复合薄膜的综合性能, 吹胀比增大, 有利于分子链取向, 提高复合薄膜的结晶度。当秸秆含量为 10 %, 吹胀比为 3 时, 复合薄膜的拉伸强度 35.6 MPa, 断裂伸长率 226.4 %, 水溶速率比纯 PVA 薄膜提升约 25 %, 为 PVA 基复合材料在环境友好包装领域的应用提供了新途径。

D10-P27

一种基于低温溶胀和气体膨胀的光伏组件高效分离方法

曹浩然 a, 陈宁 a, b*

a 先进高分子材料全国重点实验室(四川大学), 四川大学高分子研究所;

b 天府永兴实验室

科技进步需要能源作为支撑, 相比于易造成环境污染的传统化石能源, 光能、风能等清洁能源具有显著的环保优势, 因此得到快速发展。2030 年全球光伏年装机量将达 1.7TW¹。光伏组件含有高价值组分, 处理不当会造成严重的资源浪费和环境污染。据预测, 到 2030 年, 光伏组件废物将达到 800 万吨, 到 2050 年将达到 7800 万吨²。目前存在多样的光伏组件回收处置方案, 但仍存在效率低、能耗高等问题³。本研究提出了一种利用冷却浴的低温溶剂分离体系, 通过低温、溶剂溶胀和气体膨胀的三元协同作用, 实现快速的组件分离。本方案可在 -50 ℃ 至 -30 ℃ 温度范围内, 在 30 秒内实现背板剥离, 降低温度或延长低温浸泡时间可改变分离部位, 提高分离程度及分离效率。同时, 低温和热处理相结合(80 ℃ 烘箱后处理 2 小时), 可显著减少完全分离所需的低温浸泡时间。该方案中溶剂可重复利用且环保无毒, 提供了一种可持续发展的高效方法, 在光伏组件回收中具有广泛的应用潜力。本文得到国家自然科学基金(U24A20207, 52173043)及天府永兴实验室科研项目基金(No.2023KJGG11)资助。

主要参考文献:

- (1) Leung, T. L.; Willson, G. K.; Fimbres-Weihs, G.; Deng, R.; Chang, N.; Tan, V.; Abbas, A.; Ho-Baillie, A., A new perspective for evaluating circularity of photovoltaic module recycling and technology developments. *Cell. Rep. Phys. Sci.* 2025, 6 (5), 102547.
- (2) Zhang, J.; Bai, X.; Lu, J.; Shen, L.; Yu, Y.; Xi, F.; Chen, X.; Ma, W.; Li, S., Flash separation and recovery of each component from waste photovoltaic modules. *Chem. Eng. J.* 2025, 513, 163112.
- (3) Preet, S.; Smith, S. T., A comprehensive review on the recycling technology of silicon based photovoltaic solar panels: Challenges and future outlook. *J. Clean. Prod.* 2024, 448, 141661.

仅发表论文

D10-PO01

超薄膨胀型柔性防火涂层的制备及其阻燃抑烟性能研究

鲍秋如、田玉玉、张凯*

中国工程物理研究院总体工程研究所

随着新能源、航空航天、柔性电子等战略新兴产业的迅猛发展,对防火涂料的需求日益增长,而柔性基体与防火涂层间的界面适配性问题愈发凸显。针对新能源汽车电池包等柔性基体的防火性能及热变形协调性的需求,本研究以三嗪成炭剂(CFA)与焦磷酸哌嗪(PAPP)作为膨胀体系,同时引入兼具阻燃和增韧双重功效的有机硅改性剂(P-Si)及金属有机框架材料 ZIF-8,成功构建高性能环氧基柔性涂层(EP/CPF),克服传统聚磷酸铵-季戊四醇-三聚氰胺体系(IFR)膨胀炭层强度低、界面结合力弱导致开裂脱落等技术瓶颈。该体系将膨胀阻燃体系的高阻燃效率、有机硅改性剂的耐高温增韧作用及纳米阻燃剂的催化抑烟特性相结合,基于多组分间的协同作用,显著提高环氧涂层的防火阻燃、抑烟及柔韧性。测试表明,在 1000°C 火焰温度下测试 20min, EP/CPF 柔性防火涂层(厚度约 1mm)的背板温度仅为 214.6°C,较传统涂层表现出更高的炭层膨胀倍率与致密性,有效降低了涂层热传导效率。与传统 EP/IFR 防火涂层相比, EP/CPF 柔性涂层的总热释放量(THR)和总烟释放量(TSR)分别下降了 22.7%和 54.1%,一氧化碳和二氧化碳等有毒气体的释放量显著减少,展现出优异的阻燃抑烟性能。此外, EP/CPF 柔性涂层具有良好的耐久性和附着力,48h 耐水浸泡试验后涂层表面无变色、软化及剥离现象,同时保持良好的阻燃性能和柔韧性。本研究扩展了防火涂层在不同基体结构中的应用,为航天器轻量化防火与动力电池包集成防护提供创新解决方案。

D10-PO02

一种热固性酚醛树脂流变特性分析

苏阳¹、乔宇²、全皓月³、祁建磊¹、杨鹏程¹、汪艳萍^{*1}

1. 内蒙古工业大学化工学院
2. 中国科学院过程工程研究所
3. 内蒙动力机械研究所

真空导入模塑成型工艺要求树脂需要在凝胶点前保持低粘度状态,且保持的时间足够长,保证树脂在该时间内充分浸渍纤维。因此,采用凝胶渗透色谱表征方法对酚醛树脂的结构进行了分析,推测出所使用的酚醛树脂分子量分布较窄,树脂流动性好;通过酚醛树脂的动态粘度和等温粘度测试,并利用双阿雷尼乌斯模型对酚醛树脂的流变特性进行模拟,建立了酚醛树脂的低粘度平台窗口,预测出该酚醛树脂的最佳使用工艺条件:树脂最佳使用温度为 80°C,适用于真空导入模塑成型工艺的窗口期温度范围为 75-85°C。

D10-PO03

一种新型粘接材料 E-120HP 在永磁电机中的应用

牛志钧、王鑫*

中车永济电机有限公司

某型永磁电机制造过程中磁钢用环氧树脂粘接,电机运行后出现磁钢脱落问题。通过五种材料粘接脱出对比试验,改进方案选用德国乐泰 E-120HP 环氧树脂粘接,粘接强度增大 2 倍,磁钢脱落问题得以解决。德国汉高乐泰 E-120HP 是一种高粘度,不下垂坚韧的工业级环氧树脂胶粘剂,具有优异的耐热冲击性能,机械性能和电气绝缘性能,并且可以耐大多数化学药品和溶剂。典型用途主要用于粘接航空航天领域中火箭或飞弹的鼻锥体。也适合于要求高冲击和高剥离强度的低应力,通用工业领域中。可以用于不同材料的粘接,包括铝、钢、其它金属、大部分塑料以及陶瓷。

D10-PO04**可逆交联结构的丁腈橡胶/钛酸钡复合材料的界面相容性研究**

戴欣*

南昌工程学院

为满足新一代储能器件微型化和柔性化的要求,具有高介电和优异可加工性能的柔性复合材料成为了热点研究方向。本文通过将含有二氧杂硼烷基团的功能单体、异戊二烯和丙烯腈单体进行乳液聚合,制备出具有可逆交联结构的异戊二烯-丙烯腈共聚物,再与改性钛酸钡共混制备出可逆交联丁腈橡胶/钛酸钡复合材料。相比钛酸钡直接填充丁腈橡胶,10%填充量时,可逆交联丁腈橡胶/钛酸钡复合材料具有较高的 T_g (-5.4°C),表面形貌较为光滑,表面有颗粒均匀分布,没有出现团聚现象,表明改性钛酸钡与基体相容性很好,具有很好的分散性,而且经热压处理后发现材料在 80°C 下表现出一定的自愈功能。动力学学分析结果表明,可逆交联丁腈橡胶/钛酸钡复合材料具有更高的杨氏模量和更小 $\tan\delta$ 。本文构建的可逆交联结构对改善复合材料的相容性和功能化具有重要意义。

D10-PO05**Multifunctional Synergistic Optimization of Poly(lactic acid) Films Using Epoxy-Functionalized Additive A-QR and Their Application Exploration**

Zhuohao Qiao*

Guizhou Provincial Materials Industry Technology Research Institute

The development and application of biodegradable materials are an effective strategy for reducing environmental pollution and promoting sustainable development. However, there are limitations in the processing, mechanical, and barrier properties of these materials, which urgently need to be improved. The addition of additives is one of the most convenient and effective methods for obtaining high-performance polymer materials. However, there are few varieties of special modifiers for biodegradable materials, which are poorly targeted and have a single function, resulting in a small performance enhancement of biodegradable materials and high processing-and-molding difficulties.

In this study, in response to the characteristics of biodegradable materials (which generally have a low polymerization degree and require chain expansion during processing), epoxy functional additives (A-QR) with active components were successfully prepared using the ring-opening reaction between the hydroxyl and epoxy groups on quercetin. The results showed that the incorporation of A-QR improved the processing, thermal stability, crystalline, mechanical, and barrier properties of the films. In particular, when 0.6% A-QR was added to the PLA films, the tensile strength increased by 38.2%, and the water vapor transmission rate decreased by 18.9%.

In addition, UV spectral analysis confirmed that A-QR conferred excellent UV shielding and antioxidant properties to the PLA films, with the UV shielding efficiency of the PLA/A-QR composite film reaching 79.24%, and the free radical scavenging rate increasing to 83%. Reactive extrusion technology enables effective immobilization of A-QR in PLA and limits its migration during use. The PLA/AQR composite film demonstrated excellent freshness retention in food packaging applications.

D10-PO06**Study on the curing behavior and mechanical performance of epoxy-dicyclopentadiene interpenetrating polymer network via frontal polymerization**

Siqi Huang, Yunbo Sun, Wenduo Chen, Dazhi Jiang*

材料学院

Bisphenol A-type epoxy resins (BADGE) have high tensile strength and modulus but low toughness because

of the high crosslinking density. The interpenetrating polymer networks (IPNs) of epoxy resin can effectively reduce its brittleness, as external forces can be transferred and dispersed more efficiently through the interwoven network structure, preventing excessive local stress concentration. Therefore, a novel epoxy-based IPNs was synthesized by frontal polymerization using BADGE and dicyclopentadiene (DCPD) since the above two monomers can be initiated synchronously under the same triggering condition of heating or UV light. The randomly crosslinked hybrid networks are constructing based on atomistic molecular dynamics (MD) to simulate the actual curing process of epoxy and DCPD. Besides, we utilize MD simulations to elucidate the dependence of IPNs macroscopic mechanical properties on their microstructure. The IPNs crosslinking model accurately predicts physical and thermomechanical properties while introducing an effectively construction method. Our study reveals the molecular mechanisms governing BADGE-DCPD IPNs fracture and demonstrate how MD simulations successfully predict macroscale material behavior.