

2025 年度山东省科学技术奖专家提名项目

一、项目名称

聚合物基电磁屏蔽材料多尺度结构与性能优化

二、提名者及提名意见、提名等级

(一) 提名者

提名专家：蹇锡高（中国工程院院士，大连理工大学、教授）

提名专家学科领域：材料科学与工程。

(二) 提名意见

本项目属于材料科学与工程领域的基础研究。

本项目在多项国家自然科学基金等课题的资助下，针对聚合物电磁屏蔽高性能化及稳定性、导电填料表面可控修饰和材料微观/宏观结构可控构筑、导电网络构建与修复机理等关键科学问题，开展了创新系统的研究，取得了重要科学进展，主要科学发现如下：

1) 解决了磁性粒子难以在导电填料表面均匀负载的难题，揭示了影响磁性粒子成核和生长的关键因素，提供了高性能聚合物基电磁屏蔽材料所需要的关键填料；2) 解决了在聚合物基体中隔离网络结构和取向网络可控构筑的难题，阐明了网络结构形成和演变机理，阐释了导电网络对聚合物电磁屏蔽性能的影响机制，制备了高效的聚合物基电磁屏蔽材料；3) 解决了聚合物电磁屏蔽性能稳定性的难题，阐明了分子结构、微观结构与屏蔽性能稳定性的内在联系。

研究成果为实现聚合物基电磁屏蔽材料的广泛应用奠定了理论基础，具有较高的科学价值。该项目 5 篇代表性论文发表在 Chem. Eng. J. 等期刊，在 SCIE 中他引 622 次，单篇引用最高 252 次，他引大于 100 次的论文 2 篇，2 篇论文被评为 ESI 高被引论文。国内外学者引用本项工作，并给与正面评价。第一完成人在国际学术会议做邀请报告 2 次，在国内学术会议做口头报告 10 余次。

(三) 提名等级

提名该项目为 2025 年度山东省自然科学奖二等奖。

三、项目简介

聚合物基电磁屏蔽材料在国家重大设施领域发挥着举足轻重的作用。尽管本领域已经形成较为完备的理论体系和先进的制备工艺，但是在复杂应用场景下仍存在若干瓶颈问题，其核心挑战在于如何跨尺度结构设计实现屏蔽性能高效化以及在复杂服役环境下保持屏蔽性能的稳定性。围绕上述问题，本项目开展了填料表面修饰和微观/宏观多尺度结构设计，探明了导电网络构建与修复的关键机理，揭示了微观结构提升屏蔽性能及其稳定性的内在机制，创新成果如下：

(1) 揭示了磁性粒子在导电填料表面成核和生长的内在规律，实现了导电填料的纳米尺度形貌调控，制备了适用于聚合物基电磁屏蔽材料的关键功能填料：针对碳基填料缺乏磁性和低界面极化效应的问题，项目组提出了表面可控修饰的新策略，建立了水热法与原位还原联用、磁控溅射等工艺，解决了磁性粒子在导电填料表面难以均匀负载的难题，突破了影响磁性粒子成核和生长的关键瓶颈。

(2) 阐释了导电网络与电磁屏蔽性能的内在联系，实现了微/纳尺度导电网络的可控构建和聚合物材料电磁屏蔽性能的有效提升：针对导电网络可控构筑的难题，项目组建立了乳液混合与静态热压联用工艺和真空辅助成型工艺，实现了微/纳尺度结构导电网络的可控构筑，获得了一系列高效的聚合物基电磁屏蔽材料，阐明了导电网络、多相界面结构、聚集体结构和宏观形貌结构等多种因素对屏蔽性能的调控规律。

(3) 诠释了分子结构、微/纳尺度结构提升屏蔽性能稳定性的内在机理，提高了聚合物材料电磁屏蔽性能的稳定性：针对聚合物基电磁屏蔽材料性能持久性差的难题，项目组结合新型自修复聚合物材料特性，创建了导电网络修复和防护的关键技术，阐释了导电网络自修复的内在机理，提高了服役期间材料电磁屏蔽性能的稳定性。

5 篇代表性论文(含 2 篇高被引论文)发表在 Chem. Eng. J.、Carbohydr. Polym. 等本领域权威期刊，在 SCIE 中他引 622 次，单篇他引最高 252 次，他引大于 100 次的论文 2 篇。论文被国内外学者等在国际知名期刊上引用。

四、主要知识产权和标准规范等目录

1. Yanhu Zhan, Jian Wang, Kaiye Zhang, Yuchao Li,

Yanyan Meng, Ning Yan, Wenkang Wei, Fubin Peng, Hesheng Xia, Fabrication of a flexible electromagnetic interference shielding Fe_3O_4 @reduced graphene oxide/natural rubber composite with segregated network, Chemical Engineering Journal, 2018, 344, 184

2. Yanhu Zhan; Xuehui Hao, Licui Wang, Xiancai Jiang, Yu Cheng, Changzheng Wang, Yanyan Meng, Hesheng Xia, Zhenming Chen, Superhydrophobic and Flexible Silver Nanowire-Coated Cellulose Filter Papers with Sputter-Deposited Nickel Nanoparticles for Ultrahigh Electromagnetic Interference Shielding, ACS Applied Materials & Interface, 2021, 13, 14623

3. Zhaoxin Xie, Yifan Cai, Yanhu Zhan, Yanyan Meng, Yuchao Li, Qian Xie, Hesheng Xia, Thermal insulating rubber foams embedded with segregated carbon nanotube networks for electromagnetic shielding applications, Chemical Engineering Journal, 2022, 435, 135118

4. Fang Liu, Yuchao Li, Shuai Hao, Yu Cheng, Yanhu Zhan, Chunmei Zhang, Yanyan Meng, Qian Xie, Hesheng Xia, Well-aligned MXene/chitosan films with humidity response for high-performance electromagnetic interference shielding, Carbohydrate Polymers, 2020,

243, 116467

5. Yanhu Zhan, Yu Cheng, Ning Yan, Yuchao Li, Yanyan Meng, Chunmei Zhang, Zhenming Chen, Hesheng Xia, Lightweight and self-healing carbon nanotube/acrylic copolymer foams: Toward the simultaneous enhancement of electromagnetic interference shielding and thermal insulation, Chemical Engineering Journal, 2021, 417, 129339

五、主要完成人情况

1. 姓名：战艳虎，排序：1/4，职务：无，职称：副教授，工作单位：聊城大学，完成单位：聊城大学，对本项目主要学术贡献：项目研究方案的设计者，解决了磁性粒子在导电填料表面均匀负载的难题（发现点1）；建立了构筑隔离网络结构和取向网络结构的新方法，揭示了网络结构与屏蔽性能的内在联系（发现点2）；建立了提升电磁屏蔽性能稳定性的后处理技术（发现点3）；代表性论文1、2和5的第一和通讯作者，代表性论文的3、4的通讯作者。

2. 姓名：夏和生，排序：2/4，职务：先进高分子材料全国重点实验室副主任，职称：教授，工作单位：四川大学，完成单位：四川大学，对本项目主要学术贡献：项目理论分析的主要贡献者，揭示了影响磁性粒子成核和生长的关键因素、阐明了电磁耦合杂化材料对聚合物电磁屏蔽性能的影响

规律、协助建立了导电网络的修复技术；代表性论文 1-5 的通讯作者。

3. 姓名：李玉超，排序：3/4，职务：无，职称：教授，工作单位：聊城大学，完成单位：聊城大学，对本项目主要学术贡献：在电磁耦合杂化材料的制备及隔离网络的构筑中起到关键作用，协助提出了电磁耦合杂化网络对材料电磁屏蔽性能的影响规律；代表性论文 1 的通讯作者，代表性论文 3 和 5 的主要完成者之一。

4. 姓名：闫宁，排序：4/4，职务：无，职称：研究员，工作单位：西安近代化学研究所，完成单位：西安近代化学研究所，对本项目主要学术贡献：协助建立磁性粒子在导电填料表面均匀负载技术、协助建立橡胶基体中的隔离网络构筑技术；代表性论文 1 和 5 的主要完成者之一。

六、主要完成单位情况

1. 聊城大学：本单位作为该项目的核心完成单位，在项目的成功推进中发挥了无可替代的关键作用。我们面对的是传统聚合物材料电磁屏蔽性能低和稳定性差的长期技术瓶颈。为了突破这一难题，我们团队凭借深厚的科研实力与坚持不懈的创新精神，历经多次试验与优化，成功开发出一种革命性的制备新型电磁耦合杂化材料的生产方法。在此基础上，我们更进一步，建立了构筑高效隔离网络的先进工艺，并创新性地研发出能够有效增强材料电磁屏蔽性能稳定性

的表面涂覆技术。通过细致入微的研究，我们深入剖析了材料结构与屏蔽性能之间的内在联系，揭示了影响材料电磁屏蔽性能的诸多关键因素及其复杂的相互作用关系。这一系列开创性的科研成果，不仅为项目的整体研究奠定了坚实的基础，更为电磁屏蔽材料领域的未来发展注入了强大的科技动力。

2. 四川大学：本单位在该项目中承担了理论核心的关键角色，专注于磁性粒子成核机制及电磁屏蔽机理的深度研究。我们团队凭借精湛的专业技能与不懈的探索精神，成功揭示了影响磁性粒子成核与生长的核心要素，这一科学发现为优化材料性能提供了重要的理论依据。同时，我们深入剖析并明晰了功能材料、网络结构与聚合物电磁屏蔽性能之间错综复杂的构效关系，为材料的合理设计提供了指导。在此基础上，本单位还积极贡献智慧，协同提出了导电网络修复的新技术，有效攻克了聚合物材料屏蔽性能稳定性欠佳的难题。这一系列卓越的研究成果，为后续研究的稳步前行铺设了坚实的基石，不仅在理论上取得了重大进展，也在实践应用中推动了整个项目在电磁屏蔽材料领域实现了显著的飞跃与突破。

3. 西安近代化学研究院：本单位在该项目中承担了生产工艺调控的重任，充分利用在无机填料表面功能化及复合材料制备方面的深厚专长。针对聚合物材料屏蔽性能不佳的瓶

颈问题，我们团队迎难而上，精心调控工艺参数，确保磁性粒子能够均匀负载于导电填料表面，并将其有序排列于聚合物基体中，成功构建出高效的隔离网络结构。这一突破性的创新，不仅大幅提升了材料的电磁屏蔽性能，还为本项目的顺利推进提供了优质的功能填料支持。这一系列创新性的研究成果，奠定了坚实的技术基础，有效加速了整个项目的研发进程，对于推动电磁屏蔽材料领域的科技进步具有重要意义。