

2025 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

电磁屏蔽高分子复合材料制备与调控机理

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：

该项目在国家自然科学基金联合基金重点项目、国家杰出青年科学基金项目、173 领域基金、陕西省杰出青年科学基金等基金项目的支持下，在 *Adv Mater*, *Angew Chem Int Ed* 和 *Sci Bull* 等期刊发表电磁屏蔽高分子复合材料 SCI 论文 70 篇，入选 ESI 热点论文 37 篇、ESI 高被引论文 52 篇。入选中国百篇最具影响国际学术论文 2 篇、中国科协优秀科技论文 1 篇、中国化学会高分子科学创新论文奖 1 篇、领跑者 5000-中国精品科技期刊顶尖学术论文 1 篇。

针对电磁屏蔽高分子复合材料有效耗散界面少、难以兼顾优异电磁屏蔽和力学性能，以及功能单一等关键科学问题和技术瓶颈难题，围绕多界面调控、异质结构填料构筑以及模板诱导序列化分布策略等展开系统深入研究。发展了多重键合方式调控多界面电磁屏蔽高分子复合材料的新方法，构建了外场诱导异质结构电磁填料及其复合材料自组装的新策略，提出了利用可设计模板诱导多元化功能电磁填料可控分布的新概念，完善了高分子复合材料的电磁屏蔽机理。

研究成果理论创新度高，发表的论文受到国内外学者的好评和高度认可，关注度和引用率极高，对电磁屏蔽高分子复合材料相关研究有引领和示范作用，具有重要的学术价值和理论意义，也对学科建设和经济社会发展具有重要的指导作用。

推荐材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖推荐条件。特提名为陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介

电磁屏蔽高分子复合材料是解决电磁辐射和电磁污染问题的关键材料，在航空航天装备、高精密度智能控制系统和 5G 通讯终端与基站等多个重大工程领域具有重要应用，是体现国家竞争力和保障国家高端制造业发展的代表性技术。

该成果历时 6 年多，在国家自然科学基金联合基金重点项目、国家杰出青年科学基金项目、173 领域基金、陕西省杰出青年科学基金等基金项目的支持下，针对电磁屏蔽高分子复合材料有效耗散界面少、难以兼顾优异电磁屏蔽和力学性能，以及功能单一等关键科学问题和技术瓶颈难题，围绕多界面调控、异质结构填料构筑以及模板诱导序列化分布策略等展开系统深入研究，实现了高性能、多功能电磁屏蔽高分子复合材料研制，完善和发展了高分子复合材料电磁屏蔽机理。

该成果的主要科学发现与贡献包括：

- (1) 发展了多重键合方式调控多界面电磁屏蔽高分子复合材料的新方法，

揭示了电磁波在界面层中的多重反射和散射机理，解决了微/纳米尺度填料自堆叠导致有效电磁波耗散界面少的技术瓶颈问题，显著提高了高分子复合材料的电磁防护能力。

(2) 构建了外场诱导异质结构电磁填料及其复合材料自组装的新策略，明晰了导电/导磁和绝缘网络功能优势互补机制，攻克了高分子基体和电磁填料网络连续性相互制约的难题，实现了高分子复合材料电磁屏蔽性能和力学性能的协同提升。

(3) 提出了利用可设计模板诱导多元化功能电磁填料可控分布的新概念，基于多模块分区化设计和结构/功能一体化理念阐明了可调谐网络与复杂环境适应性的构效关系，实现了高分子复合材料在电磁屏蔽、热管理、阻燃等多场景下的功能集成。

该成果在 *Adv Mater*, *Angew Chem Int Ed* 和 *Sci Bull* 等期刊发表电磁屏蔽高分子复合材料 SCI 论文 70 篇，入选 ESI 热点论文 37 篇、ESI 高被引论文 52 篇。入选中国百篇最具影响国际学术论文 2 篇、中国科协优秀科技论文 1 篇、中国化学会高分子科学创新论文奖 1 篇、领跑者 5000-中国精品科技期刊顶尖学术论文 1 篇。

其中，5 篇代表性论文 SCI 他引 2752 次，篇均他引 550 次。SCI 引文刊登于 *Prog Mater Sci*、*Adv Mater*、*Mater Sci Eng R* 等 100 余种学术期刊，其引文作者来自中国、美国、英国、日本、澳大利亚等国家和地区，引文作者单位主要有清华大学、北京大学、美国麻省理工学院、美国佐治亚理工学院、英国剑桥大学、新加坡南洋理工大学等，引文作者中有多伦多大学 Chul B. Park 院士、新布伦瑞克大学倪永浩院士、新加坡国立大学 Seeram Ramakrishna 院士、华南理工大学瞿金平院士、郑州大学申长雨院士等。代表性引用有：多伦多大学 Chul B. Park 院士、新布伦瑞克大学倪永浩院士等高度肯定了申请人在电磁屏蔽高分子复合材料结构设计方面的贡献，称“Gu 等利用天然木材模板设计出的仿“砖-泥”结构解决了 MXene 气凝胶网络不稳定的长期难题，并大幅提高了复合材料的电磁屏蔽效能”。新加坡国立大学 Seeram Ramakrishna 院士、同济大学邱军教授、北京科技大学查俊伟教授等评价了申请人在导电网络构筑方面的研究，称“Gu 等开发了利用还原氧化石墨烯增强纤维素气凝胶的新方法，三维双层导电网络的构筑使得该气凝胶展现出优异的电磁屏蔽性能 (51 dB)，比相同负载的简单共混材料提升了 74.5%”。郑州大学申长雨院士、华南理工大学瞿金平院士等高度肯定了申请人在多界面调控方面的工作，评述为“Gu 等提出‘真空辅助过滤-铺层热压-热处理工艺’相结合的新方法，成功实现了 $(\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PI})\text{-Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x\text{-(Fe}_3\text{O}_4/\text{PI})$ 复合膜的可控制备，该法不仅克服了传统工艺中孔结构可控性差和界面结合力弱的难题，还赋予材料优异电磁屏蔽性能、导热性能和力学性能。”

该成果授权和公开国家发明专利 10 件。研制的电磁屏蔽硅橡胶制品有力支撑了中国电子科技集团公司第三十三研究所的高性能电磁防护材料型号研制，为抵御 HPM 系统的强电磁脉冲攻击提供关键材料保障。研制的电磁屏蔽硅橡胶复

合材料应用于**航天材料及工艺研究所结构复合材料研究应用中心**某型号电子设备机柜系统，被选定用于高频、高密度元器件集中区域的缝隙填充及密封，从而有效阻断外部电磁干扰，防止内部敏感信号泄露，显著提升了系统的电磁兼容性和信息安全等级，**解决了传统屏蔽材料密封性差、服役寿命短、结构适应性弱等工程瓶颈问题**。研制的 XGD-EMF-I 型电磁屏蔽高分子复合膜应用在**广东思泉新材料有限公司**，主要用于微波有源器件及屏蔽箱，满足小米、vivo、美的等客户要求。2018 年 7 月开始采用，2019 年开始产生效益。4 年（2019 年 1 月至 2022 年 12 月）累计**新增销售额 4800.3 万元，新增利润 778.6 万元**。

本项目培养了一支在相关领域国际领先水平的研究队伍，包括国家杰出青年科学基金项目获得者 1 人、国家高层次人才计划 1 人，国际聚合物加工学会 Morand Lambla Award 1 人（莫然达-拉姆伯拉成就奖，每届全球 1 名），科睿唯安（Clarivate）全球高被引科学家 4 人，爱思唯尔（Elsevier）“中国高被引学者”2 人，中国复合材料学会青年科学家奖 1 人，高分子成型加工及其产业发展“新锐创新奖”1 人；入选中国科协青年人才托举工程 1 人、博士后创新人才支持计划 1 人。

以上科研成果及其应用为破解高性能电磁屏蔽高分子复合材料的关键科学问题和技术瓶颈难题作出了重要贡献，有力推动了我国电磁屏蔽高分子复合材料相关学科建设和经济社会发展，显著增强了本学科的国际影响力。

四、客观评价

该成果工作得到业内同行的广泛关注和积极评价。5 篇代表性论文 SCI 他引 2752 次，篇均他引 550 次。SCI 引文刊登于 *Prog Mater Sci*、*Adv Mater*、*Mater Sci Eng R* 等 100 余种学术期刊，其引文作者来自中国、美国、英国、日本、澳大利亚等国家和地区，引文作者单位主要有清华大学、北京大学、美国麻省理工学院、美国佐治亚理工学院、英国剑桥大学、新加坡南洋理工大学等，引文作者中有多伦多大学 Chul B. Park 院士、新布伦瑞克大学倪永浩院士、新加坡国立大学 Seeram Ramakrishna 院士、华南理工大学瞿金平院士、郑州大学申长雨院士等。

部分代表性评价如下：

（1）对于发现点一的客观评价：

中国科学院院士、郑州大学申长雨教授在论文（*Adv Funct Mater*, 2025, **35**: 2414811）中高度认可了完成人的工作，评述为：“Gu 等（**代表性论文 1**）提出“真空辅助过滤-铺层热压-热处理工艺”相结合的新方法，成功实现了(Fe₃O₄/PI)-Ti₃C₂T_x-(Fe₃O₄/PI)复合膜的可控制备，该法不仅克服了传统工艺中孔结构可控性差和界面结合力弱的难题，还赋予材料优异电磁屏蔽性能、导热性能和力学性能。”

韩国科学院院士、高丽大学 Jong Seung Kim 教授在论文（*Nano-Micro Lett*, 2025, **17**: 50）中高度认可了完成人的工作，评述为：“文献[22]制备的空心 Ti₃C₂T_x 泡沫具有互锁和自支撑的空心球体结构，这种新型结构为解决 MXene 纳米片的自堆积问题提供了指导。”文献[22]为**代表性论文 1**。

北京科技大学查俊伟教授在论文（*Prog Mater Sci*, 2025, **148**: 101362）中高度认可了完成人的工作，评述为：“Gu 等（**代表性论文 1**）设计构筑了一种基于中空 Ti₃C₂T_x 微球的高效导电通路，该结构在实现强阻抗失配与能量耗散的同时，极大提升了材料的电磁屏蔽性能。”

加拿大工程院院士、美国缅因大学 Ober Chair 教授、加拿大新布伦瑞克大学倪永浩教授在论文 (*Adv Compos Hybrid Mater*, 2023, **6**: 205) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 4) 巧妙结合静电纺丝与铺层热压技术, 创新性设计出一种新型夹层结构电磁屏蔽纳米复合薄膜。得益于静电纺丝工艺赋予的纤维网络优势与夹层结构构筑带来的多重反射和耗散效应, 该复合膜展现出卓越的电磁屏蔽性能。”

中国工程院院士、华南理工大学瞿金平教授在论文 (*J Mater Sci Technol*, 2022, **113**: 145-157) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 4) 提出并实现了三明治结构电磁屏蔽复合膜的构筑策略, 在兼具多功能化与高效屏蔽的同时突破了低填料用量的限制。”

(2) 对于发现点二的客观评价:

中国科学技术大学龚兴龙教授在论文 (*Adv Sci*, 2023, **10**: 2302412) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 2) 通过真空辅助过滤实现了银纳米线在皮革中的有序组装, 制备出兼具焦耳加热、电磁屏蔽与压阻传感功能的多功能复合材料。该材料具有优异的焦耳热、电磁屏蔽和压阻传感性能, 在下一代可穿戴电子设备中具有广阔的应用前景。”

韩国中央大学 Jooheon Kim 教授在论文 (*Compos Sci Technol*, 2024, **257**: 110834) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 2) 制备了具有多层结构的多功能可穿戴银纳米线/皮革纳米复合材料。该材料在兼具柔韧性与舒适性的同时, 展现出优异的电磁屏蔽性能和灵敏的压阻传感特性。”

同济大学邱军教授在论文 (*Angew Chem Int Ed*, 2024, **63**: e202406177) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 2) 系统介绍了其焦耳热与电磁屏蔽相关研究, 阐明了其机理与应用潜力。”

北京理工大学曹茂盛教授在论文 (*Nano-Micro Lett*, 2023, **15**: 142) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 2) 制备的可穿戴银纳米线/皮革纳米复合材料实现了焦耳加热、电磁屏蔽与压阻传感的高度集成, 为多功能柔性智能材料的结构设计与性能提升奠定了基础。”

(3) 对于发现点三的客观评价:

英国皇家工程院院士、美国医学与生物工程院院士、中国工程院外籍院士、新加坡国立大学 Seeram Ramakrishna 教授在论文 (*Matter*, 2022, **5**: 3807-3868) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 3) 开发了利用还原氧化石墨烯增强纤维素气凝胶的新方法, 三维双层导电网络的构筑使得该气凝胶展现出优异的电磁屏蔽性能(51 dB), 比相同负载的简单共混材料提升了 74.5%, 此外该材料还具有优异的热稳定性和导热性能, 有望成为可穿戴电磁屏蔽材料的通用材料。”

香港工程科学院院士、香港科技大学 Jang-Kyo Kim 教授在论文 (*Compos Part A-Appl S*, 2021, **147**: 106430) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 3) 采用溶胶-凝胶和冷冻干燥的方法制备了石墨烯/聚合物复合气凝胶, 该气凝胶凭借其丰富的孔道结构实现了强散射与高耗散。”

加拿大皇家科学院院士、加拿大工程院院士、中国工程院外籍院士、多伦多大学 Chul B. Park 教授在论文 (*J Mater Chem A*, 2021, **9**: 8896) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 5) 利用天然木材模板设计出的仿“砖-泥”结构解决了 MXene 气凝胶网络不稳定的长期难题, 并大幅提高了复合材料的电磁屏蔽效能。”

美国化学会会士、Anselme Payen 奖获得者、英属哥伦比亚大学 **Orlando J. Rojas** 教授在论文 (*Prog Mater Sci*, 2025, **147**: 101354) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “文献[401]创新性地利用磁性颗粒与导电聚合物对木材进行功能化改性, 实现对介电常数与电导率的协同调控, 赋予木材强效电磁波耗散与电磁屏蔽能力, 为天然材料高值化利用提供了新思路。”文献[401]为代表性论文 **5**。

杭州电子科技大学**张雪峰**教授在论文 (*ACS Appl Mater Interfaces*, 2020, **12**: 40802-40814) 中高度认可了完成人的工作, 评述为: “Gu 等 (代表性论文 **5**) 制备了 MXene 气凝胶/木材衍生多孔碳复合材料, 该复合体系通过显著增强介电损耗实现了卓越的电磁屏蔽性能。”

五、代表性论文专著目录（不超过 8 条，其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部）

序号	论文专著 名称	刊名	作者	年卷页 码	发表 时间	通讯作者	第一作者	国内作者	他引 总次 数	检索 数据 库	知识产 权是否 归国内 所有
1	Controlled Distributed $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ Hollow Microspheres on Thermally Conductive Polyimide Composite Films for Excellent Electromagnetic Interference Shielding	Advanced Materials	Yali Zhang, Kunpeng Ruan, Kun Zhou and Junwei Gu	2023 年 35 卷 2211642 页	2023 年 4 月 20 日	Kun Zhou, Junwei Gu	Yali Zhang	张雅莉, 阮坤鹏, 顾军渭	763	SCI	是
2	Multifunctional Wearable Silver Nanowire Decorated Leather Nanocomposites for Joule Heating, Electromagnetic Interference Shielding and Piezoresistive Sensing	Angewandte Chemie International Edition	Zhonglei Ma, Xiaolian Xiang, Liang Shao, Yali Zhang and Junwei Gu	2022 年 61 卷 e202200705 页	2022 年 4 月 4 日	Junwei Gu	Zhonglei Ma, Xiaolian Xiang	马忠雷, 向小莲, 邵亮, 张雅莉, 顾军渭	546	SCI	是

3	Lightweight, Flexible Cellulose-Derived Carbon Aerogel@Reduced Graphene Oxide/PDMS Composites with Outstanding EMI Shielding Performances and Excellent Thermal Conductivities	Nano-Micro Letters	Ping Song, Bei Liu, Chaobo Liang, Kunpeng Ruan, Hua Qiu, Zhonglei Ma, Yongqiang Guo and Junwei Gu	2021 年 13 卷 91 页	2021 年 3 月 16 日	Junwei Gu	Ping Song, Bei Liu	宋萍, 刘备, 梁超博, 阮坤鹏, 邱华, 马忠雷, 郭永强, 顾军渭	581	SCI	是
4	Flexible Sandwich-Structured Electromagnetic Interference Shielding Nanocomposite Films with Excellent Thermal Conductivities	Small	Yali Zhang, Kunpeng Ruan and Junwei Gu	2021 年 17 卷 2101951 页	2021 年 10 月 21 日	Junwei Gu	Yali Zhang	张雅莉, 阮坤鹏, 顾军渭	454	SCI	是
5	Ultra-light MXene aerogel/wood-derived porous carbon composites with wall-like “mortar/brick” structures for electromagnetic interference shielding	Science Bulletin	Chaobo Liang, Hua Qiu, Ping Song, Xuetao Shi, Jie Kong and Junwei Gu	2020 年 65 卷 616-622 页	2020 年 4 月 30 日	Junwei Gu	Chaobo Liang	梁超博, 邱华, 宋萍, 史学涛, 孔杰, 顾军渭	408	SCI	是

6	Transition Metal Carbide (MXene)-Polymer Nanocomposites	Two-dimensional Inorganic Nanomaterials for Conductive Polymer Nanocomposites	Jie Kong, Yan Song, Lei Wang and Ben Bin Xu	2021 年 99-123 页	2021 年 6 月 23 日	Jie Kong	Jie Kong	孔杰, 宋燕、王雷	--	Royal Society of Chemistry	是
合计									2752	--	--

六、主要完成人情况（不超过 6 人）

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
顾军渭	1	学院院长	教 授	西北工业大学	西北工业大学	项目主要负责人，确立了高分子电磁屏蔽复合材料研究的研究方向：负责项目总体规划、指导及实施，对三个发现点均作出了贡献，提出本成果的关键学术思想、技术路线及实验方案，并直接参与了本项目的研究工作，是代表性论著 1-5 的通讯作者。发展了多重键合方式调控多界面电磁屏蔽高分子复合材料的新方法，构建了外场诱导异质结构电磁填料及其复合材料自组装的新策略，提出了利用可设计模板诱导多元化功能电磁填料可控分布的新概念，完善了高分子复合材料的电磁屏蔽机理。
张雅莉	2	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	对 1、3 发现点作出了贡献，是代表性论著 1、4 的第一作者，是代表性论著 2 的共同作者。发展了基于多重键合方式调控多界面电磁屏蔽高分子复合材料的新方法，揭示了电磁波在界面层中的多重反射和散射机理，解决了微/纳米尺度填料自堆叠导致有效电磁波耗散界面少的技术瓶颈问题。

孔 杰	3	国际合作处处长	教 授	西北工业大学	西北工业大学	对项目的规划、实施做出了贡献,对发现点 2、3 作出了重要贡献,是代表性论著 6 的第一作者,是代表性论著 5 的共同作者。开发了多维度异质结构电磁填料及其高分子复合材料外场诱导自组装的新技术,提出了利用可设计模板诱导多元化功能填料可控分布的新策略。
梁超博	4	无	副教授	中北大学	西北工业大学	对发现点 2、3 作出了重要贡献,是代表性论著 5 的第一作者,是代表性论著 4 的共同作者。明晰了导电/导磁和绝缘网络功能优势互补机制,攻克了高分子基体和电磁填料网络相互制约的难题,提出了利用可设计模板诱导多元化功能填料可控分布的新策略。
邱 华	5	无	副研究员	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 3 作出了贡献,是代表性论著 3、5 的共同作者。开发了多维度异质结构电磁填料及其高分子复合材料外场诱导自组装的新技术,基于多模块分区化设计和结构/功能一体化理念阐明了可调谐网络与复杂环境适应性的构效关系。
宋 萍	6	无	副教授	西安理工大学	西北工业大学	对发现点 2、3 均作出了贡献,是代表性论著 3 的第一作者,是代表性论著 5 的共同作者。开发了“牺牲模板-真空浸渍”相结合的新策略。

七、主要完成单位情况

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	作为本项目的依托单位，西北工业大学为项目的顺利完成及取得优异成绩做出了重要贡献，主要表现在：(1)组织并完成了项目的策划和实施工作;(2)为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境与场所;(3)提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和数据库等资源。

八、完成人合作关系说明

本项目完成人为：顾军渭、张雅莉、孔杰、梁超博、邱华、宋萍。团队成员共同完成“电磁屏蔽高分子复合材料制备与调控机理”的相关研究工作。

1. 顾军渭（第一完成人）和张雅莉（第二完成人）一直保持着科研合作关系。张雅莉自 2019 年 9 月至 2024 年 3 月在顾军渭教授课题组攻读博士学位，2024 年留校后一直在顾军渭教授课题组开展科研工作，两位完成人合作共同发表代表性论文专著 1、4。

2. 顾军渭（第一完成人）和孔杰（第三完成人）一直保持着科研合作关系。两位完成人合作共同获得陕西省自然科学奖二等奖和高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）技术发明奖二等奖等，并合作共同发表代表性论文专著 5。

3. 顾军渭（第一完成人）和梁超博（第四完成人）为师生关系，梁超博于 2015 年 9 月开始在顾军渭课题组攻读硕士学位，并于 2017 年 9 月开始在顾军渭课题组攻读博士学位，两位完成人合作共同发表代表性论文专著 5。

4. 顾军渭（第一完成人）和邱华（第五完成人）一直保持着科研合作关系。两位完成人合作共同发表代表性论文专著 3、5。

5. 顾军渭（第一完成人）和宋萍（第六完成人）为师生关系，宋萍于 2017 年 9 月加入顾军渭课题组开展科研工作，并于 2018 年 9 月开始在顾军渭课题组攻读博士学位，两位完成人合作共同发表代表性论文专著 3。