

项目公示信息

一、项目名称：聚合物绝缘导热与介电性能协同调控机制

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省教育厅

提名意见：

多功能柔性聚合物电介质材料是支撑高电压电力装备和高功率电子器件长期安全可靠运行的关键和基础材料，聚合物绝缘导热与介电性能的解耦调控与协同提升已成为制约我国先进电力装备与先进智能制造发展的技术瓶颈。该成果从理论上突破了聚合物的绝缘导热与介电性能协同调控理论的关键科学问题，在国际上率先提出了聚合物介质电极化的新机制和物理模型，实现了多种聚合物绝缘体系的介电参数与导热性能的协同调控与提升。出版了聚合物导热及电介质储能领域的首部中文专著，为推动先进聚合物基电工材料的发展提供了重要理论支撑，为新型高压电力装备和高频大功率电子器件急需的聚合物绝缘封装技术做出了重要贡献，在国际上该领域产生了重要的“中国影响力”。

项目组所发展的聚合物绝缘导热与介电性能协同调控理论与方法被国内外同行高度评价和广泛采用，该研究具有理论系统性和独创性，为解决该领域关注的核心科学问题提供了基础理论和方法。

我认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关内容符合陕西省科学技术奖的提名要求。研究成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，公示无异议，符合陕西省自然科学奖提名条件。

提名该项目为陕西省自然科学奖 二等奖。

三、项目简介

本项目属于电气工程学科电工材料应用基础研究领域。

聚合物绝缘材料因其本征结构的局限，低导热与低介电常数特性是对其认知的固有传统概念，能否打破这种固有认知，实现其导热与介电

常数协同调控已成为国际电气绝缘和材料学科长期以来共同关注的科学难点及前沿课题。聚合物的导热与介电参数是设计面向高压电力装备及功率电子器件的绝缘结构的重要依据，优异的导热与绝缘介电参数是均化和优化聚合物绝缘结构电场分布和改善绝缘寿命的前提。因此，无论是科学理论层面还是工程技术需求，都对聚合物的导热与介电参数的协同调控提出了迫切需求。

但受限于声子导热理论及介电极化理论，聚合物绝缘材料的导热与介电常数的提高常伴随着介电损耗的同步增加，随之伴生的热累积引发的快速温升易导致热失控，致使绝缘结构过早破坏和失效。当前对聚合物的多层次结构对其介电性能与导热的协同影响与调控机制这一关键基础问题的研究缺失已成为制约我国先进电力装备与智能制造发展的技术瓶颈，因此揭示聚合物的多级结构对其导热与介电性能的影响机理和协同调控机制具有重要的理论意义和应用价值。本项目历时 10 余年攻关，在国家自然科学基金等项目支持下，围绕聚合物的多层次结构对介电及导热性能的影响机理及协同调控的关键科学问题开展了系统性研究，揭示了聚合物的介电性能与导热解耦调控难题，并实现工程应用验证。

本项目的主要科学发现点如下：

(1) 揭示了聚合物复合介质的高介电常数低损耗与高导热协同调控的物理机制。阐明了导电相/介电导热相粒子在聚合物基体中形成的空间隔离分布、双逾渗结构及核壳结构对复合介质的介电参数的解耦调控及对介电与导热性能的协同提升机理，实现了三相聚合物复合电介质的介电性能与导热的协同调控与提升目的，为高介电常数低损耗的导热聚合物复合电介质的设计与制备提供了指导原则。

(2) 提出一核多壳结构调控聚合物复合介质的电极化新机制和物理模型。首次发现了一核多壳结构功能粒子能同步调控聚合物的高介电常数及介电强度，揭示了复合体系内粒子间低频慢极化与粒子内高频快极化协同调控介电参数的物理机制，创新性地提出了基于核壳粒子团簇的“电畴型”极化理论，构建了区别于传统的界面极化的新型极化物理模型。提出的新极化机制与物理模型为解决国际上关注的“聚合物介电性

能与导热协同调控理论”难题提供了坚实理论基础，研究成果在国际上起到了学术引领作用。

(3) 阐明聚合物绝缘低介电常数及低损耗与高导热的解耦调控及协同提升机理。提出基于分子链间非共价作用力及分子链取向、自组装取向液晶畴协同提升聚合物的本征导热与介电的物理机制与新策略，阐明了多层次结构对聚合物的介电参数与本征导热的解耦调控与协同提升机制，为设计与制备同步低介电常数低损耗的本征导热柔性聚合物电介质奠定了理论基础。

本项目实施前国内外尚无解决以上问题的完善理论与策略。本成果面向国家重大需求，针对聚合物的介电性能与导热协同调控理论缺失、调控模型及策略受限难题，构建了聚合物介电性能多参数与导热的协同调控机理和新方法，实现了聚合物的介电与导热多性能协同调控的目的，在国际上率先建立了聚合物介质的介电参数与导热协同调控理论与方法。项目成果为解决“聚合物的导热与介电性能协同调控理论与方法”难题提供了关键理论和科学方法，为发展高效、长期安全的高压电力装备和高功率器件的绝缘技术提供了理论支撑和物质基础。

四、客观评价

本项目发表 SCI 论文 100 余篇，主要发表在 **Advanced Materials**、**Energy Storage Materials** 和 **High Voltage** 等电气、材料和物理类著名期刊，项目成果出版了国内外聚合物绝缘导热与介电储能领域首部中英文专著。5 篇代表作全部发表在 Top 期刊，被国内外 30 余位院士和 100 余知名研究机构的科学家他引 522 次。

项目成果被美、英、法、德、加、澳、日和中国多个高校和研究结构的著名学者发表在顶刊的论文广泛引用和正面评价，例如，杨万泰、南策文、张立群、雷清泉及瞿金平等院士高度评价：提出的“电畴极化”模型对提高介电常数起着关键作用，在渗流复合材料中既要防止导电填料形成远程互联结构，又要保持填料团簇内局部的电荷传输，对提高复合材料介电和抑制损耗至关重要”。美国工程院院士 **CP Wong**、国际著名电介质专家如 **QM Zhang**, **LQ Chen** 和 **Q Wang** 等发表成果评价：借助

介电相对导电相形成空间隔离结构可协同提升复合介质的导热及介电性能”。项目成果所发展的聚合物介质的电-热性能调控理论与方法被国内外同行广泛采用，项目理论成果支撑了国内外柔性电子学、智能工程学、无磁电机学、隐身材料学和医疗康复学等学科发展，成为新型聚合物柔性电介质材料研究的理论基础。

五、代表性论文专著目录（限 5 篇论文+3 部专著）

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码	发表时间（年月日）	通讯作者（含共同）	第一作者	第一完成单位	他引总次数	检索数据库	知识产权是否归国内所有
1	Enhanced thermal conductivity and dielectric properties of Al/ β -SiCw/PVDF composites	Composites, Part A	Wenying Zhou, Qingguo Chen, Xuezhen Sui, Lina Dong, Zijun Wang.	2015,71, 184-191	2015-05	Wenying Zhou, Qingguo Chen	Wenying Zhou	西安科技大学	104	SCI 核心数据库	是
2	Thermal conductivity and dielectric properties of Al/PVDF composites	Composites, Part A	Wenying Zhou, Jing Zuo, Wene Ren.	2012, 43(4):658-664	2012-03	Wenying Zhou	Wenying Zhou	西安科技大学	145	SCI 核心数据库	是
3	Significantly improved high-temperature charge-discharge efficiency of all-organic polyimide composites by suppressing space charge	Nano Energy	Qikun Feng, Difan Liu, Yongxin Zhang, Jiayao Pei, Shaolong Zhong, Huiyi Hu, Xinjie Wang, Zhi-Min Dang	2022, 99:1074-10	2022-08	Zhi-Min Dang	Qikun Feng	清华大学	66	SCI 核心数据库	是

[illegible]

补充说明：专著无法查到数据库索引，故没有填写；专著也没有卷，只写了年和起始页码。

六、主要完成人情况

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
周文英	1	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	本项目的科学问题和总体学术思想的提出者，负责研究路线设计及项目管理和协调，对发现点 1、2、3 均有重要贡献。代表作 1，2，6 的第一作者，代表作 1, 2 的唯一通讯作者，代表作 5 的第一通讯作者。
党智敏	2	无	教授	清华大学	清华大学	本项目的科学问题和总体学术思想的提出者，负责研究路线设计及项目管理和协调，对发现点 1、2、3 均有重要贡献。代表作 3 和 4 的唯一通讯作者，代表作 5 的共同通讯作者，代表作 7 的唯一作者。
刘向荣	3	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	本项目部分科学问题和学术思想的参与提出者，对发现点 3 做出了贡献，项目代表作 5 的共同作者。贡献体现在：阐明了聚合物绝缘的低介电常及损耗与导热的协同调控及提升机理。
钟少龙	4	无	助理研究员	清华大学	清华大学	本项目的部分科学问题和学术思想的参与提出者，对发现点 2 做出了贡献，项目代表作 3 和 4 的共同作者。贡献体现在：提出一核多壳结构调控聚合物绝缘介质电极化的新机制和物理模型

七、主要完成单位情况

1.西安科技大学

西安科技大学组织和实施了本项目的研究工作,是项目代表作 1、2、5 及 6 的主要完成者，对 3 个发现点均做出了重要贡献，贡献包括：(1) 揭示了聚合物复合介质的高介电低损耗与高导热协同调控的物理机制；(2) 提出一核多壳结构调控聚合物绝缘介质电极化的新机制和物理模型；(3) 阐明聚合物绝缘的低介电常及损耗与导热的调控及协同提升机理。

2 清华大学

清华大学主要参与了本项目的研究，是代表作 3、4、7 的主要完成者及代表作 5 及 6 的参与者，对发现点 1、发现点 2 及发现点 3 均做出了贡献，贡献包括：(1) 揭示了聚合物复合介质的高介电低损耗与高导热协同调控的物理机制；(2) 提出一核多壳结构调控聚合物绝缘介质电极化的新机制和物理模型；(3) 阐明聚合物绝缘的低介电常及损耗与导热的调控及协同提升机理。

八、完成人合作关系说明

本次奖项申请的完成人依次为周文英、党智敏、刘向荣和钟少龙。其中周文英、党智敏与刘向荣三人共同完成代表作 5；党智敏与周文英两人共同完成代表作 6；党智敏与钟少龙两人共同完成代表作 3 与代表作 4。完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。

现对完成人合作关系及参与并做出重要贡献说明如下：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始 时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	党智敏 (2) 钟少龙 (4)	2018-01 至 2023-02-28	发现点 2	代表作 3
2	论文合著	党智敏 (2) 钟少龙 (4)	2018-01-31 至 2022-10-31	发现点 2	代表作 4
3	论文合著	周文英 (1) 党智敏 (2) 刘向荣 (3)	2015-01-01 至 2020-12-31	发现点 3	代表作 5
4	专著合著	周文英 (1) 党智敏 (2)	2015-01-01 至 2020-10-20	发现点 1 发现点 3	代表作 6
5					