

陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	吸声超结构低频宽带声能量调控理论及性能增效方法
主要完成人	吴九汇、马富银、刘崇锐、朱子才、陈煦
主要完成单位	西安交通大学

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	西安交通大学	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>该项目围绕船舶、航空等重大装备轻薄化低频宽带舱室降噪和现代消声室超紧凑化更新换代等技术需求，在 3 项国家自然科学基金和 6 项船舶/航空企业技术开发项目的支持下，经过 10 余年系统深入研究取得了学术上突破性进展。以吸声超结构为载体，系统地构建了通过人工声学边界效应、多阶共振耦合效应、多尺度协同效应、声学虹吸效应等原理实现低频宽带声能量调控及性能增强的方法体系。成果得到包含近 10 位院士在内的国内外同行积极评价，形成的关键技术用于建成国际首个超结构全消声室，先后为多家科研院所建成近 10 个超结构消声室，赋能各类装备开发。该项目一方面形成了较高的学术影响力，另一方面也取得了显著的经济和社会效益。本单位强烈推荐陕西省科技厅给予该成果自然科学奖一等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

三、项目简介

1、项目研究背景简介

噪声控制对于保障船舶、航空等各类武器装备的服役安全具有重要意义。吸声作为重要的噪声控制和声场调控手段，被广泛应用于声学工程中。传统吸声材料包括以玻璃棉为代表的纤维多孔材料、以岩棉为代表的泡沫多孔吸声材料和微穿孔板吸声体等，但这些吸声材料或结构除了难以满足不断提高的环保要求外，更重要的是其低频吸声性能差，需要厚度达到最低频率对应波长的 $1/4$ 才能实现有效吸收，这对于本来空间就非常紧张的装备来说是无法接受的。超结构的发展为具有亚波长厚度的低频吸声结构设计提供了新的途径，但已有方案普遍存在工作带宽不够宽、幅值不够高、结构特征复杂难以批量快速制备等问题，制约了其大规模工程应用。为此，本项目围绕吸声超结构的低频宽带性能增效设计方法和声场调控机制开展研究，形成了系统性的研究成果和解决方案，为突破制约吸声超结构工程应用的关键技术难题提供了理论支撑，推动相应技术成果实现了大规模工程应用。进一步将吸声超结构引入声聚焦和成像应用中，成功通过纯被动功能结构突破衍射极限制约，拓宽了吸声超结构的内涵和应用领域。

2、主要创新点和科学发现

如图 1 所示，本项目重点针对吸声结构带宽制约和幅值制约两个阻碍工程应用的关键问题，建立了系统性低频宽带声能量调控理论和性能增效方法，并进一步拓展了应用内涵，应用于声成像领域，构建了纯被动“声沉”，成功突破了衍射极限。



图 1. 主要发现点及逻辑关联性

（1）吸声超结构多阶共振耦合调控理论和频带拓宽机制研究（带宽增效）

针对在工程中稳定性高、工艺性好的腔体类吸声结构工作带宽难以大幅提升的难题，基于多自由度振动系统的理论，提出了通过在经典亥姆霍兹共振吸声结构中嵌入穿孔隔板，在保持原有吸声峰的同时额外产生与穿孔隔板数量一致的高阶吸声峰的多阶共振耦合设计方法，建立了多阶共振耦合声波调控理论，揭示了多阶共振耦合声波调控机制。通过多阶共振耦合吸声设计，维持原始吸收峰和结构尺寸不变的情况下，由于穿孔隔板的引入，形成多自由度系统的多阶共振耦合行为，从而在更高频带内获得多个接近完美的峰。系统地建立了这种多自由度多阶吸声超结构的等效声学电路理论分析模型模型，严格揭示了多阶共振耦合声能量调控原理和吸声频带拓宽机制。这种多阶共振耦合宽带增效调控方法可以在保证低频吸声的同时覆盖中-高频吸声，使得吸声结构工作带宽拓宽至 5 个倍频程，从而为满足消声室等专业声学实验室的宽带吸声要求提供了理论和方法保障。

(2) 吸声超结构跨尺度及跨界面协同耦合调控理论和幅值增效原理研究（幅值增效）

针对薄层吸声结构很难兼顾宽带和高吸声幅值，导致带宽拓宽后吸声幅值大幅降低的难题，提出了通过引入微穿孔板、狭缝、声学毛细管等介观尺度特征和引入软物质构造人工声学软边界，以此大幅提升薄层宽带吸声结构吸声幅值的跨尺度及跨界面协同调控方法，建立了吸声超结构的跨尺度和跨界面协同耦合调控理论，揭示了声学毛细效应和声学软边界效应等宽带吸声增效机制。通过将经典亥姆霍兹共振吸声单元的原始颈部变成多个较小的介观尺度微穿孔颈部，将原本的集中声质量转变为分散质量，使得吸声峰的半高宽增加 100%；通过耦合腔的多阶谐振特性和介观尺度微穿孔的宽带吸收特性，将单元的高阶阻抗调谐为更匹配空气介质的阻抗，在不额外增加多孔吸声覆盖层的情况下获得了近乎完美的连续吸声峰；通过引入狭缝和声学毛细管，克服了被动吸声结构对空间体积的绝对依赖性，借助毛细效应在减小空间的同时大幅提升吸声带宽并降低工作频率，为狭小空间宽带被动吸声设计提供了理论和方法保障。此外，本项目与超结构创始人、香港科技大学沈平教授团队同步独立提出了提升低频宽带吸声性能的人工声学软边界构建方法。通过在腔体类吸声结构内壁敷设弹性模量低至 KPa 级的软物质界面，构建了特殊的声学软声边界，有效提高了宽带吸声性能；这种机制与以往报道的方法不同，柔软的软物质凝胶层相当于充当一种柔软的声学边界，大大降低了声速，并在两种不同介质的界面处产生较大的弹性应变能，提高了吸声性能；这种吸声增强方法不需要增加原吸声结构的整体外部尺寸，并且可以在较宽的频率范围内实现有效的增强，同时适用于空气介质和水中。

(3) 基于吸声超结构的边界声场调控机理及纯被动亚衍射声成像原理（内涵拓展）

针对声成像分辨率受衍射极限制约无法突破半波长限制的难题，提出将吸声超结构的声能量边界调控方法拓展到了声成像领域，通过吸声超结构对聚焦过程进行边界声场调控，从而突破衍射极限的纯被动亚衍射成像原理。考虑到衍射极限源于汇聚波和发散波之间的干涉，通过在焦点处采用点状人工吸声“陷阱”的概念来调制这种干涉，以消除或减少发散波，通过构建强吸声球形迷宫超结构实现了突破衍射极限的超分辨聚焦。这种亚衍射聚焦的物理机制是，声波到达焦点后，由于所布置的声“陷阱”具有完美的吸声能力，很大一部分声能会进入后损失，无法完成出射过程，从而破坏了入射波和出射波的干涉过程，根本上打破了衍射极限的制约。

3、科学价值和学术产业影响

围绕以上创新工作发表的 5 篇代表性论文发表在教育物理和复合结构领域的权威期刊上，包括 Materials Horizons、Composite Structures、Journal of Materials Chemistry C 等 Top 期刊。5 篇代表作 SCI 总被引 400 次，其中他引 320 次。1 篇代表作入选期刊封面，1 篇代表作入选 ESI 高被引论文及刊物年度最受关注 40 篇论文榜单，2 篇代表作入选英国皇家物理学会(IOP)高被引论文。成果得到德国、美国、加拿大、中国等多个国家的多名院士、ASME/AIAA/ASA 等国际权威学会的多名 Fellow、以及 Materials & Design 等国际权威刊物副主编为代表的众多专家学者的积极评价、引用和跟踪研究。在国内外重要学术会议做大会报告近 10 次，特邀报告 20 余次。以本项目内容为核心的研究工作获得了 2024 年陕西省高等学校优秀成果一等奖、第一届中国汽车工程学会优秀博士论文奖（获奖博士生：马富银，指导教师：吴九汇）、陕西省优秀博士论文奖（获奖博士生：马富银、高南沙，指导教师：吴九汇）、2022 年全国颠覆性技术创新大赛领域优秀奖、2023 年第五届金茂绿建高校创新大赛特等奖等多个奖项。

基于本项目的学术成果，开发了系统性的吸声超结构产业化核心技术，形成了新一代装备舱室降噪及消声室解决方案。于 2019 年在中国西部科技创新港建成国际首个超结构全消声室，并先后为兵器 201 所、中船 701 所、中船 719 所、中电 14 所、中国核动力研究设计院、中航工业第一飞机设计研究院等军工单位和民品单位建立了近 10 个超结构静音实验室和消声舱段，赋能舰艇、航空器、雷达、装甲车辆等多类装备和汽车等大众消费品的开发测试。

四、客观评价

(1) 发现点一客观评价:

1) **加拿大复合材料研究学会主席**、蒙特利尔综合理工学院 D. Therriault 教授发表学术论文认为:“(本项目的方案)实现了 900Hz 带宽的吸收范围.....以实现最佳吸声性能.....以获得幅值足够近的吸声峰并得到幅值超过 90%的宽带吸声曲线”;“achieved a 900 Hz wide absorption range...for optimal sound-absorbing performance; ...to obtain peaks close enough to create a continuous spectrum with an absorption above 90%”。【施引文献: Addit. Manuf. 2023, 61, 103344; 被引成果: J. Phys. D: Appl. Phys. 2019, 52, 105302】

2) 国际 SCI 期刊 J. Intel. Mat. Syst. Struct. **副主编**、南京航空航天大学裘进浩教授 (**ASME Fellow**) 发表研究论文以本项目成果作为其建模和边界条件设置的依据,指出:“.....在空气和固体部件之间的界面上施加了硬声场边界”;“Hard boundaries are imposed on the interfaces between air and solid parts ...”。【施引文献: Phys. Scr. 2021, 96, 085008; 被引成果: J. Phys. D: Appl. Phys. 2019, 52, 105302】

3) **ASME 最高奖 Melville 奖章获得者**、上海交通大学孟光教授 (**ASME Fellow**、**国家杰青**) 和瞿叶高教授 (**国家杰青**) 发表学术论文肯定了本项目的工作对拓宽吸声带宽方面的有效性,指出:“.....可以产生多个连续吸声峰”;“... which can produce multiple absorption peaks”。【施引文献: Appl. Acoust. 2022, 187, 108496; 被引成果: Appl. Phys. Express 2019, 12, 084002】

4) 美国佐治亚理工学院 Seung-Kyum Choi 教授与华中科技大学史玉升教授 (**军科委首席专家**)、宋波教授 (**国家杰青**) 合作,在材料科学领域 Top 期刊 Mater. Today 上发表综述论文,将本项目成果作为吸声超结构方面的两类代表性工作之一,进行了正面评价、大篇幅报道和重点介绍(图 7a、7b 和 7c 均转载自本成果),评价本成果的设计方法可以在保持尺寸参数不变的条件下拓宽吸声带宽。【施引文献: Mater. Today 2021, 50, 303-328; 被引成果: Appl. Phys. Express 2019, 12, 084002】

(2) 发现点二客观评价:

1) **Top 期刊 Mater. Design 副主编**、新加坡国立大学 Wei Zhai 教授发表 SCI 论文本成果引用本项目成果达 **18 篇次**,认为:“正如文献(本项目成果)所建议,为了进一步拓宽吸声带宽,可以考虑多孔介质和腔体之间的协同耦合”;“As a suggestion on further enhancing the sound absorption bandwidth, synergetic coupling can be considered via introducing heterogeneities to pore and cavity dimensions”。【施引文献: Small, 2021, 17, 2100336; 被引成果: Comp. Struct. 2020, 246, 112366; J. Phys. D: Appl. Phys. 2019, 52, 105302】

2) 佐治亚理工学院 K. Ahuja 教授 (**AIAA Fellow**),在其发表的学术论文中认为:“Liu 等使用了一个微穿孔面板,.....使得吸声结构变得更紧凑”;“Liu et al. used a micro-perforated panel backed by ... that were made compact ...”。【施引文献: AIAA SciTech Forum, Jan. 3-7, 2022, San Diego; 被引成果: Comp. Struct. 2020, 246, 112366】

3) **中国科学院院士**、**国际仿生工程学会常务副主席**、国际 SCI 期刊 J. Bionic Eng. **主编**、吉林大学任露泉教授发表学术论文肯定了薄层吸声超结构能够实现宽带连续超强吸声,指出:“Liu 等人提出了一种具有多阶共振的轻薄微穿孔面板超结构,.....”;“Liu et al. presented a thin microperforated panel metamaterial with multi-order resonance that ...”。【施引文献: Appl. Acoust. 2021, 182, 108226; 被引成果: Comp. Struct. 2020, 246, 112366】

4) 华中科技大学能动学院院长罗小兵教授 (**IEEE Fellow**、**国家杰青**) 发表学术论文认为本项目成果将吸声超结构边界从硬边界转变为软边界是提升性能的有效途径:“将隔振器边界从硬边界转变为软边界、以及实现高阶共振都是(提升吸声性能)的有效途径”;“transition of the resonator's boundary from solid to soft and utilization of high-order resonances are all effective approaches”。【施引文献: Appl. Acoust. 2023, 206, 109321; 被引成果: Mater. Horiz. 2022, 9, 653-662; Comp. Struct. 2020, 246, 112366】

(3) 发现点三客观评价:

1) **NASA 学术委员**、美国普渡大学 M. R. Jahanshahi 教授发表学术论文评价本项目成果为新应用开辟了机会,可以克服衍射极限,指出:“这为新应用开辟了许多机会,包括但不限于通过超结构构造可以克服衍射极限的声学透镜”;“This opens numerous opportunities for novel applications including but not limited to hyperlens made of metamaterials to overcome the diffraction limit”。【施引文献: Mech. Syst. Signal Pr. 2022, 164, 108190; 被引成果: J. Mater. Chem. C, 2019, 7, 5131-5138】

2) 美国科罗拉多大学波德分校 M. Ruzzene 教授 (**ASME Fellow**) 发表学术论文评价本项目成果提出的声沉能够实现亚波长声聚焦、打破衍射极限、实现远场低损耗声成像,指出:“声沉的存在会导致亚波长聚焦并突破衍射极限,从而允许避免高损耗的远场成像”;“the presence of a wave sink may lead to subwavelength focusing and surpass the diffraction limit, allowing for far-field imaging that avoids high loss”。【施引文献: Adv. Sci. 2023, 10, 2301811; 被引成果: J. Mater. Chem. C, 2019, 7, 5131-5138】

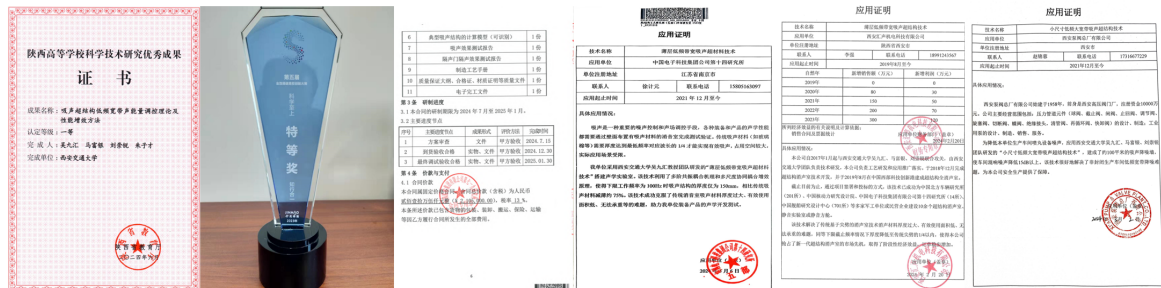
3) **美国声学学会会士 (ASA Fellow)**、美国杨百翰大学 B. E. Anderson 教授在 JASA 等刊物发表多篇学术论文引用本成果 10 余篇次,在其发表的多篇论文中肯定了本成果提出的被动声“陷阱”能够实现超分辨声成像、声“壁垒”能够有效提升声能强度,指出:

“.....声壁垒.....能够提升聚焦峰值强度”;“... acoustic prisons, ... able to increase the peak focus intensity”。【被引成果: J. Mater. Chem. C 2020, 8, 9511-9519】

“通过时间反演获得超分辨也被证实.....通过被动声陷阱”;“Obtaining super-resolution with TR has also been demonstrated... by using a passive acoustic sink”。【被引成果: J. Mater. Chem. C 2020, 8, 9511-9519】

表 1. 主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	对象及规模	应用起止时间	联系人/电话
1	中国电子科技集团公司第 14 研究所	薄层低频带宽吸声超结构技术	超结构全消声室, 1 个	2021 年 12 月至今	徐计元 15805163097
2	中国核动力研究设计院	薄层低频带宽吸声超结构技术	超结构全消声室, 2 个	2020 年 9 月至今	林松 13982042213
3	中国兵器集团第 201 研究所	薄层低频带宽吸声超结构技术	超结构全消声室, 1 个	2021 年 8 月至今	王阳 13651206454
4	中国船舶第 719 研究所	舱段吸声超结构供货	大型水下装备消声舱段, 1 批	2024 年 11 月至今	漆琼芳 15072416674
5	中国船舶集团第 701 研究所	薄层低频带宽吸声超结构技术	大型水面舰艇舱室降噪, 1 批	2022 年 10 月至 2023 年 2 月	田华安 15802713276
6	西安泵阀总厂有限公司	小尺寸低频大宽带吸声超结构技术	大型加工厂超结构降噪墙	2021 年 12 月至今	赵锦蓉 17316677229
7	浙江永康金鼎机电有限公司	小尺寸低频大宽带吸声超结构技术	超结构全消声室, 1 个	2022 年 9 月至今	胡章士 13958455816



相关获奖证书

船舶719所供货证明

中电14所应用证明

西安汇声应用证明

西安泵阀厂应用证明

图 2. 代表性相关获奖证书及应用证明 (说明: 中国核动力研究设计院、兵器 201 所、船舶 701 所项目由西安汇声声学科技有限公司产业化转化实施, 故由该单位代为出具应用证明)

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 (xx 年 xx 卷 xx 页)	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	Enhancing of broadband sound absorption through soft matter	Materials Horizons	Fuyin Ma, Chang Wang, Yang Du, Zicai Zhu, Jiu Hui Wu	2022, 9, 653-662	2022.02.07	马富银、朱子才	马富银	马富银、王畅、杜洋、朱子才、吴九汇	45	web of science	是
2	Ultra-broadband acoustic absorption of a thin microperforated panel metamaterial with multi-order resonance	Composite Structures	Chongrui Liu, Jiu Hui Wu, Zhengrui Yang, Fuyin Ma	2020, 246, 112366	2020.08.15	吴九汇	刘崇锐	刘崇锐、吴九汇、杨征睿、马富银	146	web of science	是
3	Three-dimensional acoustic sub-diffraction focusing by coiled metamaterials with strong absorption	Journal of Materials Chemistry C	Fuyin Ma, Jianyu Chen, Jiuhui Wu	2019, 7, 5131-5138	2019.05.07	马富银	马富银	马富银、陈剑雨、吴九汇	51	web of science	是

4	A thin low-frequency broadband metasurface with multi-order sound absorption	Journal of Physics D: Applied Physics	Chongrui Liu, Jiu Hui Wu, Xu Chen, Fuyin Ma	2019, 52, 105302	2019.03.06	吴九汇	刘崇锐	刘崇锐、吴九汇、陈煦、马富银	100	web of science	是
5	A thin multi-order Helmholtz metamaterial with perfect broadband acoustic absorption	Applied Physics Express	Chongrui Liu, Jiu Hui Wu, Fuyin Ma, Xu Chen, Zhengrui Yang	2019, 12, 074004	2019.08.01	吴九汇	刘崇锐	刘崇锐、吴九汇、马富银、陈煦、杨征睿	69	web of science	是
6	声学超材料吸声理论及应用	西安交通大学出版社	吴九汇、刘崇锐、马富银	/	2021.09.01	/	吴九汇	吴九汇、刘崇锐、马富银	/	/	是
合 计									411		
补充说明（视情填写）：											

六、主要完成人情况表

姓 名	吴九汇	排 名	1
行政职务	副所长		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 主导提出了吸声超结构的多阶共振设计方法；主导提出了通过引入微穿孔板等介观尺度特征拓宽吸声带宽的设计方法；参与提出了通过构造人工声学边界实现低频宽带吸声性能增强的超结构声能量边界调控增效方法；参与提出了通过构造被动人工“陷阱”打破声成像衍射极限的方法。			

姓 名	马富银	排 名	2
行政职务	院长助理		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 主导提出了通过构造人工声学边界实现低频宽带吸声性能增强的超结构声能量边界调控增效方法；主导提出了通过构造被动人工“陷阱”打破衍射极限的方法；参与提出了吸声超结构的多阶共振设计方法；参与提出了通过引入微穿孔板等介观尺度特征拓宽吸声带宽的设计方法。			

姓 名	刘崇锐	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	副研究员		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献：

主导实施了吸声超结构的多阶共振设计方法；主导实施了通过引入微穿孔板等介观尺度特征拓宽吸声带宽的设计方法。

姓 名	朱子才	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献：

参与了通过构造人工声学边界实现低频宽带吸声性能增强的超结构声能量边界调控增效方法。

姓 名	陈煦	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西北农林科技大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献：

参与实施了吸声超结构的多阶共振设计方法。

七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>西安交通大学作为项目完成单位，为本项目提供了所需的全部实验条件和实验设备、图书资料的检索复制和跨境传递、艰苦奋斗的西迁精神、高效得力的科研组织管理，具有分析测试实验室、材料性能测试平台等。同时组织协调并保证参与人员的时间，提供良好的工作场所。以上实验条件、设备、人员及本项目的组织、管理和协调工作保障了本项目的顺利实施。</p>	

完成人合作关系说明

本项目主要完成人经 10 余年系统深入研究，取得了学术上突破性进展，形成了吸声超结构低频宽带声能量调控理论及系统性的性能增效方法。在此基础上获得了陕西省高等学校科学技术一等奖、中国创新创业大赛最高优胜奖、科技部全国颠覆性技术创新大赛领域优秀奖等奖励。具体组织与合作关系如下：第一完成人吴九汇，是第二完成人马富银、第三完成人刘崇锐和第五完成人陈煦的博士生导师，参与了所有代表性论文和专著的工作，作为代表性论文 2、4、5 的通讯作者和代表性专著 1、2 的第一作者。第二完成人马富银，师从第一完成人吴九汇攻读博士学位，主要研究基于超结构的减振降噪理论及方法，工作后继续和吴九汇开展合作，共著代表性论文 1、2、3、4、5 和代表性专著 1，博士论文获中国汽车工程学会优秀博士论文奖、陕西省优秀博士论文奖。第三完成人刘崇锐，师从第一完成人吴九汇攻读博士学位，主要研究吸声超结构设计方法及性能增强机理，工作后继续和吴九汇、马富银开展合作，共著代表性论文 2、4、5 和代表性专著 1。第四完成人朱子才，长期和第二完成人马富银保持良好合作关系，作为共同通讯作者与第二完成人马富银合作著有代表性论文 1。第五完成人陈煦，读博期间参与第一完成人和第三完成人的工作，共著代表性论文 4、5。

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	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	马富银(1)、朱子才(4)、吴九汇(5)	2022	论文	代表论文 1
2	论文合著	刘崇锐(1)、吴九汇(2)、马富银(4)	2020	论文	代表论文 2
3	论文合著	马富银(1)、吴九汇(3)	2019	论文	代表论文 3
4	论文合著	刘崇锐(1)、吴九汇(2)、陈煦(3)、 马富银(4)	2019	论文	代表论文 4
5	论文合著	刘崇锐(1)、吴九汇(2)、马富银 (3)、陈煦(4)	2019	论文	代表论文 5
6	专著合著	吴九汇(1)、刘崇锐(2)、马富银(3)	2020	专著	代表著作 1
7	共同获奖	吴九汇(1)、马富银(2)、刘崇锐 (3)、朱子才(4)	2024	2024 年陕西省高等学校科学研究 优秀成果奖 一等奖	获奖证书
8	共同获奖	马富银(1)、吴九汇(2)、刘崇锐(3)	2022	2022 年全国颠覆性技术 创新大赛 领域优秀奖	获奖证书