

2025 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

舱室声环境感知与主被动复合降噪关键技术

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：该成果在工业和信息化部民机科研专项等国家级项目的支持下，突破了舱室声环境高精度感知、非平稳主动降噪及传感-作动器件优化布局、面向听感的宽频带高性能复合降噪技术工程化等关键技术，取得了一系列创新成果，主要发明与发现点包括：①提出了强混响环境下的声源定位方法和基于稀疏测量阵列的动态声场再现技术，实现了复杂舱室声场的高精度感知；②提出了大空间多通道自适应主动控制算法和传感-作动器件优化布局技术，实现了飞行条件下的舱内全空间稳定降噪；③创建了面向听觉感受和轻量化可承压的主被动复合降噪技术，攻克了传感/作动设备故障自动检测难题，实现了空间降噪技术的工程化应用。

该成果授权发明专利 37 项、其他知识产权 6 项；出版专著 4 部、发表高水平论文 95 篇。在国产特种涡浆飞机、直升机、支线客机舱室降噪中获得成功应用，空间主动降噪产品实现批产，并已列装。该成果的 2 项发明专利获科技成果转化，由此成立的科技成果转化公司已成为本领域专业研发与生产主动降噪产品的领军企业。该成果创新性强、应用价值高，产生了显著的经济和社会效益。

该成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件。特提名该成果为陕西省技术发明奖二等奖。

三、项目简介

舱室噪声是决定航空飞行器乘坐舒适性的关键因素。噪声过量会直接影响乘客的出行体验，削弱民机的市场竞争力；噪声超标会严重干扰指战员的工作效能，限制军机的人机工效。因此，舱室降噪一直是飞行器设计与制造中的关键技术和瓶颈问题。然而，现有降噪技术设计和实施存在“声场信息获取难、低频降噪效果差、实际应用约束多”三大痛点。因此，发展高精度声场感知下的多约束主被动复合降噪技术是有效提升舱室舒适性的必然路径。

在工业和信息化部民机重点科研专项等国家级项目的支持下，该成果突破了舱室声环境高精度感知、大空间非平稳主动降噪（也称“有源降噪”）及传感-作动器件优化布局、面向听觉感知的高性能复合降噪技术工程化等关键技术，取得一系列创新成果并实现工程应用。该成果的主要发明及发现点包括：

（1）提出了强混响环境下的声源定位方法、开发了基于稀疏采样阵列的动态声场再现技术，实现了复杂舱室声场的高精度感知，为主被动降噪设计提供

了先验信息和试验/验证平台。

开发了基于双传声器和空间脉冲响应匹配的舱内声源定位技术，实现了强混响、强干扰条件下对舱内不可见及分布式声源的准确定位，满足了被动降噪设计对声源先验信息的需求；提出了基于球谐函数和平面波分解的声场重构方法，实现了基于随机阵列测量的全空间动态声场实时获取，为舱室主动降噪设计提供了充分的先验信息；提出基于稀疏声源和声压匹配的宽带声场再现方法，实现了舱内动态声场时-频-空特性的准确模拟，在特种涡浆飞机、直升机、电力机车司机室降噪技术研发中获得应用。提出的声源定位方法准确率大于 90%，研制的舱室声场模拟平台再现声场与实际声场的平均误差小于 5dB，具有性能好、效率高、成本低等显著优势。

(2) 提出了大空间多通道自适应主动控制算法和传感-作动器件优化布局技术，实现了飞行条件下的舱内全空间稳定降噪，解决了复杂场景下主动降噪系统开发中的核心难题。

主动降噪技术已在耳机和轿车车厢等小空间中获得成功应用，但飞机舱室具有空间大、噪声非平稳等特点，为此提出了多通道自适应主动降噪算法，解决了通道规模大、参考信号频率失配导致自适应算法运算量剧增及稳定性差的问题；针对实际应用中对主动降噪设备安装位置、个数及重量的多约束条件，提出了基于量子粒子群优化算法的次级声源-误差传感器解耦布局优化技术。上述技术的综合运用实现了大空间降噪量提升、系统复杂度降低及自适应算法稳定的“三重”要求。该成果应用于空间主动降噪产品研发，使主动降噪研发工作效率提升 80%；自适应多通道主动控制系统稳定运行，飞行状态下的特征线谱降噪量达 10dB(A) 以上，“总体降噪性能达到国际先进、国内领先水平”。

(3) 创建了面向听觉感受和轻量化可承压的主被动复合降噪技术，攻克了传感-作动设备故障自动检测难题，实现了空间降噪技术的工程化应用，为该成果的产业化奠定了技术基础。

为满足工程应用对舱室降噪技术的多种严苛要求，在开展噪声烦恼度主观评价与建模的基础上，提出面向声学舒适性最大化的主动降噪算法和音频注入式噪声烦恼感抑制技术；发明轻薄平面扬声器作为主动控制系统中的次级声源，实现了主动降噪装置的轻量化；将有源控制技术引入微穿孔吸声结构，发明的主被动复合式有源微穿孔板吸声器实现了低-中频段的宽带高效吸声；以多孔金属材料为基材设计空间弯折吸声超结构，研制的可承压被动降噪声学材料实现了宽频率带宽上的近似完美吸声；提出传感-作动设备故障自动检测方法，保障了主动降噪系统的长期稳定运行。上述技术的综合运用使研发的主被动复合降噪系统同时具备“声品质有效提升、装置轻量化可承压、系统运行稳定可靠”的特点。提出的主动降噪算法使烦恼度值下降幅度达 47.8%，声品质明显提升；研制的可承压被动吸声超结构的宽带平均吸声系数为 0.82；与其他性能相同的声学结构相比，开发的主被动复合降噪装置重量减轻 70%。

该成果获得 3 项工业和信息化部民机科研专项、5 项国家自然科学基金项

目、10 余项航空科学基金和企业合作项目资助。授权发明专利 37 项、其他知识产权 6 项；出版专著 4 部、发表高水平论文 95 篇（SCI 56 篇、EI 39 篇）；牵头编制团体标准 2 项。专著《有源噪声控制》为高被引专著（第 1 版他引 514 次，2014 年再版，他引 187 次）、5 篇代表性论文他引 121 次。

该成果在国产特种涡浆飞机、直升机、支线客机等舱室降噪中获得成功应用，近三年产生经济效益 8506 万元。该成果打破国外对主动降噪核心技术的垄断和封锁，解决了舱室低频降噪中的“卡脖子”问题，其中 2 项发明专利获科技成果转化 609 万元，成立了以第一完成人为首席科学家的**西安艾科特声学科技有限公司**，目前该公司是本领域国内唯一一家拥有完全自主知识产权的主动降噪领军企业，其空间主动降噪产品实现批产，并已列装。同时，该成果在标准制定、教育教学、科学普及等方面成效突出；培养了 21 名博士、45 名硕士，为我国在本领域继续保持国际先进水平提供了人才支撑。

四、客观评价

1. 技术指标实现情况

（1）在舱室声场高精度感知方面，西安艾科特声学科技有限公司【附件 1-4】、中国飞机强度研究所【附件 2-2】、航空工业空气动力研究院【附件 2-3】及中车株洲电力机车有限公司【附件 3-20】采用该成果的声场再现技术，可准确模拟实际运行状态中的各类舱室声场，达到再现声场与实际声场的平均声压级误差小于 5dB 的效果【附件 2-3，附件 3-19】，构建的声场模拟平台为开展舱室降噪设计与试验提供了强有力的支撑。航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司飞机设计研究所采用该成果的声场感知技术，仿真结果与实测结果误差小于 3dB，实现了复杂舱室声场的高精度预测【附件 2-5】。

（2）在舱室低频稳定降噪方面，西安艾科特声学科技有限公司【附件 1-4】、中国飞机强度研究所【附件 2-2】、陕西烽火宏声科技有限责任公司【附件 2-4】、中车株洲电力机车有限公司【附件 3-20】、中国船舶集团第七二五研究所【附件 3-21】都应用了该成果。中国飞机强度研究所将该成果的自适应主动降噪技术应用于涡浆飞机模拟舱室低频降噪中，在关键频率上的降噪量为 14.6dB【附件 2-2，附件 3-14】。西安艾科特声学科技有限公司应用该成果中的传感-作动器件布局优化技术使优化布局效率提升 80%；将大空间多通道主动控制算法应用于空间主动降噪产品研发，飞行状态下舱室规定测点的平均降噪量达 5dB(A)、特征线谱降噪量达 10dB(A) 以上，总体降噪性能达到国际先进、国内领先水平【附件 1-4（艾科特公司应用证明）】。

（3）在舱室降噪技术工程化方面，西安艾科特声学科技有限公司开发的飞机舱室主动降噪产品已实现批产【附件 2-1】，并已列装。西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司采用该成果吸声超结构技术研制的轻质承压降噪材料，宽带吸声性能优异，在 50-8000Hz 范围内的平均吸声系数为 0.82，低频线谱平均降噪量达 8dB(A)。与具有相同吸声性能的其他声学结构相比，重量减轻 70%【附件 1-

4（菲尔特公司应用证明）】，在重量体积约束强的航空飞行器舱室降噪领域发挥了重要的作用。

2.国内外技术比较

主要对比点	国外	国内	该成果	比较
封闭空间声源定位： 1) 传声器数； 2) 低信噪比下的定位准确率。	比利时鲁汶大学^[1]： 1) 2； 2) 85%。	复旦大学^[2]： 1) 8； 2) 70%。	1) 2； 2) 90%。	优于
封闭空间声场再现： 1) 准确声场再现的空间范围； 2) 采样点数量。	丹麦技术大学^[3]： 1) 1.43m ³ 全空间再现； 2) 102个采样点。	浙江大学^[4]： 1) 采样点周围10个点位； 2) 10个采样点。	1) 4.5m ³ 全空间再现； 2) 8个采样点。	优于
飞行器舱室主动降噪： 1) 降噪量； 2) 传感-作动器布局设计效率。	澳大利亚阿德莱德大学^[5]： 1) 实验室中达6.9dB； 2) 传统试凑法布局、效率不高。	中国直升机设计研究所^[6]： 1) 实验室中达8.1dB； 2) 传统试凑法布局、效率不高。	1) 实验室中达14.6dB；飞行工况下达10dB以上； 2) 基于量子粒子群优化的传感-作动器布局优化技术，效率提升80%。	优于
被动声学超结构： 1) 绝对吸声带宽-厚度比； 2) 承压能力。	韩国科学技术院^[7]： 1) 5.74； 2) 承压能力弱。	武汉理工大学^[8]： 1) 9.18； 2) 承压能力弱。	1) 24.22； 2) 抗弯刚度6.3kN·m。	优于

参考文献：[1] Antonello N, Waterschoot T, Moonen M, et.al. 22nd European Signal Processing Conference, 2014. [2] 周峰. 复旦大学博士学位论文, 2009. [3] Verburg S, Fernandez E. J. Acoust. Soc. Am., 2018. [4] 于泳, 刘联鋈, 郑旭等. 航天器环境工程, 2021. [5] Kestell C. Ph.D. thesis, Adelaide University, 2000. [6] 虞汉文, 孙东红, 李明强等. 直升机技术, 2012. [7] Ryoo H, Yong L, Jeon W. Mechanical Systems and Signal Processing, 2024. [8] Xiang L, Wang G, Luo G, et. al. Applied Acoustics, 2024.

3.学术价值

该成果出版专著4部、发表高水平论文95篇（SCI 56篇、EI 39篇）。《有源噪声控制》为**高被引专著**（首版他引514次，再版他引187次）、5篇代表性论文他引121次【附件3-23】。该成果的理论创新与科学价值受到本学科领域国内外同行的广泛认可与好评，部分他引评价如下：（1）中国工程院院士、潜艇降噪技术专家何琳院士在其专著中评价代表作[1]：“有源噪声控制已被用于管道噪声、变压器噪声、飞机发动机噪声、船舶振动的传递控制等方面”【附件3-24-1】；（2）欧洲航空航天学会气动噪声专家委员 Gareth J. Bennett 教授在其论文中评价代表作[2]：“弹性微穿孔板吸声体上附加的局域共振可获得其吸声性能的提升”（the local resonance of flexible micro-perforated panels can achieve a sound absorption improvement）【附件3-24-2】；（3）美国普林斯顿大学 E. Y. Choueiri 教授在其论文中评价代表作[5]：“与采用传统的球谐转换系数相比，他们的方法可提高矩阵求逆的稳定性”（their method tends to improve the stability of the matrix inversion compared to using the traditional spherical-harmonic translation coefficients）【附件3-24-3】；（4）合肥工业大学国家级人才毕传兴教授在其论文中评价代表作[6]：“在

稀疏框架下扩展了 Helmholtz 方程最小二乘法来处理圆柱腔内的声场”(extended the Helmholtz equation least square method in a sparsity framework to deal with the sound field within a cylindrical cavity)【附件 3-24-4】。

4.科技查新结论

委托教育部科技查新工作站(L29)对以下创新点进行查新:(1)利用多个传声器随机位置采样,通过平面波分解方法,结合分裂增广拉格朗日收缩算法,实现封闭空间低频声场再现;(2)基于量子粒子群优化算法,对次级声源的位置进行编码,通过迭代计算,实现直升机舱室有源噪声控制系统中次级声源的优化布放;(3)基于声压级矩阵,采用监测点声压差与阈值对比法,实现主动降噪系统中次级声源的故障检测。检索范围包括中文科技期刊数据库等 18 个中文数据库和工程索引(EI-CPX)等 13 个英文数据库。查新结论为“国内外未见与该查新项目查新点相同的文献报道”【附件 3-22】。

五、应用情况和效益

1.应用情况

该成果已应用于中航工业集团下属部分科研院所的航空飞行器装备设计,以及用于西安艾科特声学科技有限公司、陕西烽火宏声科技有限责任公司及西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司等进行主被动复合降噪产品开发,有力支撑了多项航空飞行器装备的设计与试验及民用领域的舱室降噪。

(1)该成果的部分关键技术实现成果转化,两项授权发明专利【附件 1-2、附件 1-3】作价 609 万元,投资成立西安艾科特声学科技有限公司【附件 2-1】。目前该公司已发展为国内唯一一家拥有完全自主知识产权的主动降噪领军企业,其所开发的产品在国产特种涡浆飞机、支线客机等舱室降噪中获得成功应用,填补了该领域的国内空白;

(2)该成果中的声场再现技术、传感-作动器件布局优化技术、大空间主动降噪算法、传感-作动设备故障自动检测等技术已应用于西安艾科特声学科技有限公司的舱室空间主动降噪产品研制中,其空间主动降噪产品实现批产,并已列装【附件 1-4(艾科特公司应用证明),附件 2-1】;

(3)该成果中基于声压匹配的声场重构技术、大空间多通道自适应主动控制算法已应用于中国飞机强度研究所承担的重大科研项目中,研制的声场重构系统可为大型飞机舱室降噪系统开发提供地面试验平台;定制化的主动控制软件实现了对飞机舱室低频噪声的有效控制【附件 2-2】;

(4)该成果中基于声压匹配的声场重构技术已应用于航空工业空气动力研究院直升机声源载荷模拟任务中,研制了直升机声源载荷模拟系统,为直升机舱内噪声控制提供了研究和试验验证平台【附件 2-3】;

(5)该成果中开发的平面次级声源及误差传感器设计技术已应用于陕西烽

火宏声科技有限责任公司承担的特种扬声器、传感器研制任务中，相关产品可满足各类舱室主动降噪的要求【附件 2-4】；

（6）该成果中金属纤维基空间弯折吸声超结构应用于西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司的降噪产品研发中，研制的轻质承压降噪材料在 50-8000Hz 范围内的平均吸声系数为 0.82，低频线谱的平均降噪量达 8dB(A)。与具有相同吸声性能的其他声学结构相比，重量减轻 70%【附件 1-4（菲尔特公司应用证明）】；

（7）该成果中基于空间脉冲响应匹配的舱内声源定位技术应用于航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司飞机设计研究所的直升机舱室声环境构建中，为直升机舱室噪声源识别及声场仿真提供了重要技术支撑【附件 2-5】。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人
1	西安艾科特声学科技有限公司	有源降噪系统中次级声源、误差传感器布放方法	应用于科技成果转化，以 609 万元作价入股成立科技公司。	2017.1-2022.3	刘玲
2	西安艾科特声学科技有限公司	基于声压匹配的声场重构技术、电声器件优化布局技术、大空间自适应主动控制算法	应用于开发和生产舱室空间主动降噪产品；近三年新增销售额 7349 万元、新增利润 1942 万元。	2021.1-2023.12	刘玲
3	中国飞机强度研究所	基于声压匹配的声场重构技术、大空间多通道自适应主动控制算法	应用于民机科研项目声场重构试验研究，定制声场重构试验平台；应用于民机科研项目主动噪声控制研究，定制主动噪声控制软件。	2019.12-2021.5	董宁娟
4	航空工业空气动力研究院	基于声压匹配的声场重构技术	应用于直升机声源载荷模拟任务，定制了直升机声源载荷模拟系统。	2020.8-2022.6	姜涛
5	陕西烽火宏声科技有限责任公司	有源声学结构中平面次级声源及误差传感器设计技术	应用于特种扬声器、传感器开发；定制化设备设计方案。	2020.1-2021.11	左秋印
6	西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司	基于金属纤维基空间弯折吸声超结构降噪技术	应用于研制轻质承压降噪材料；在多项国家级重点科研项目中获得应用，直接经济效益近 948 万元。	2021.1-2023.11	郭亮
7	航空工业哈尔滨飞机工业集团有限	基于空间脉冲响应匹配的舱内声源定位技术	应用于直升机舱室声场仿真及噪声源识别与定位；支撑多项直升机降噪科研项	2019.12-2021.12	林长亮

	责任公司飞机设计研究所		目。		
--	-------------	--	----	--	--

2.应用效益

2.1 经济效益

近三年来，该成果在应用中产生直接经济效益 **8506 万元**，包括在应用单位新增产值 8297 万元以及完成单位开展科技服务产生的经济效益 209 万元。

(1) 研究团队将两项发明专利【附件 1-2、附件 1-3】作价 609 万元作为科技成果转化投资，成立了**西安艾科特声学科技有限公司**（该成果第一完成人担任公司首席科学家），致力于研制舱室主被动复合降噪相关产品，主要应用于各型军用和民用飞机、高铁、汽车等舱室声环境舒适性提升等领域【附件 2-1】。2021-2023 年，应用该成果相关技术后新增销售额 7349 万元、新增利润 1942 万元【附件 1-4（艾科特公司应用证明）】。

(2) 西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司利用该成果中的金属纤维基空间弯折吸声超结构技术，研制生产的轻质承压降噪材料，近三年新增销售额近 948 万元，新增利润近 288 万元【附件 1-4（菲尔特公司应用证明）】。

(3) 该成果中的部分技术也在其他领域得到有效应用，近三年产生经济效益 209 万元，包括将舱室声源定位技术应用于国家电网重庆电力科学研究院的变电站噪声源定位与分离技术研究中【附件 2-6】；将基于噪声主观评价的主动降噪技术应用于杭州老板电器公司，开发了基于音频注入的家电辐射噪声烦恼感抑制技术【附件 2-7】；将噪声主观评价技术应用于中国船级社上海规范研究所的远洋客船振动噪声舒适性评价技术研发中【附件 2-8、附件 2-9】。

2.2 社会效益

(1) **支撑国产飞行器及其他载人运载平台打造宁静舱室声环境，助力树立国产品牌高端形象，增强其在国际市场上的竞争力。**

该成果应用于多个现役军机型号，有效提升了舱室声品质，改善了机内指战员长时空中值班的环境舒适性，提升了飞机平台的人机工效。主动降噪技术应用于国产 ARJ21 飞机舱室局部空间降噪，达到了满意的试验效果，有助于树立国产飞机的高端品牌形象；应用于高速列车司机室，改善了工作人员的环境舒适性，为国产机车提高市场竞争力、拓展海外市场做出了贡献。

(2) **打破了发达国家对主动降噪核心技术的垄断和封锁，解决了舱室低频降噪中的“卡脖子”问题。**

具有空间主动降噪产品开发能力的公司主要为以色列的 Silentium 公司和欧洲的 Ultra Electronics 公司，前者掌握了民用产品空间主动降噪关键技术，但该公司对我国仅销售成套产品及提供售后服务，不授权核心部件和软件的知识产权，产品价格高昂，且在关键技术受制于人。Ultra Electronics 公司专门开发军用飞机舱室主动降噪产品，但对我国实行严格封锁，国产飞机无法使用。因此，该成

果使我国掌握了主动降噪领域从设计到工程应用中的一系列关键技术,对我国在该领域保持世界先进水平具有重要意义。

(3) 该成果在标准制定、教育教学、科学普及等领域发挥了积极作用,赢得了良好的社会声誉。

该成果研究团队历时 5 年,联合中科院声学所、南京大学等国内主被动降噪优势单位,牵头编制完成《有源噪声控制:术语、系统组成及降噪性能表征》和《封闭空间有源噪声控制降噪量的测量》两项中国声学学会团体标准,首次实现了封闭空间主动降噪技术的规范化,对推动舱室主动降噪技术的进一步发展具有关键性的作用。该成果中的创新内容作为案例编入《舱室声学》、《工程声学》、《有源噪声与振动控制》等本科生和研究生教材和课件,并进入课堂,为提升相关学科和专业的教学质量做出了贡献。以该成果主要科技创新为主题开展声学科普活动 30 余场,受众 5000 余人次,从声学的角度阐释和传播了“以人为本”、“宁静中国”等理念。

(4) 培养了一批减振降噪领域优秀高层次人才,为我国在本领域继续保持国际先进水平提供了人才支撑。

在该成果研发和应用期间,共培养博士 21 名、硕士 45 名,其中包括“中国声学学会优秀博士学位论文”获得者、“江西最美环保人”获得者、“中国商飞研发中心高级专家”、西安艾科特声学科技有限公司研发团队核心技术骨干,以及上海交通大学、香港大学、香港理工大学等知名高校的教授或研究员,此外,还有一批分布于航空、航天、船舶等行业的声学专家。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

（应填写直接支持本项目主要技术发明成立且已批准或授权的知识产权（包括发明专利、实用新型专利、植物新品种权、计算机软件著作权、集成电路布图设计权、论文等）和标准规范等，应按与项目主要技术发明点的密切和重要程度排序。

对于发明专利，知识产权类别写发明专利，然后依次填写发明名称，国家（地区），专利号，授权公告日，专利证书上的证书号，发明人，专利权人。对于其他类型，根据实际情况填写相应栏目，发明人一栏可不填。

所列知识产权应为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖推荐项目中作为支撑材料出现。用于推荐陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利指发明人）的同意。有关知情证明材料均存档备查。

所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2024 年 12 月 31 日之前。发明人均不是项目主要完成人的发明专利，不得列入本表。）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	基于空间脉冲响应匹配的封闭空间声源定位方法及系统	中国	ZL201410669207.8	2017年03月01日	2394682	西北工业大学	曾向阳， 王海涛， 马慧颖， 王强，蔡怀珍
2	发明专利	一种直升机舱室有源噪声控制系统中次级声源的布放方法	中国	ZL201610933058.0	2019年06月04日	3400543	西安艾科特声学科技有限公司	陈克安
3	发明专利	直升机舱室全局有源噪声控制的误差	中国	ZL201610938851.X	2019年06月21日	3426417	西安艾科特声学科技有限公	陈克安

		传感器布放优化方法					司	
4	发明专利	基于传声器随机采样的封闭空间低频声场再现方法	中国	ZL202010109592.6	2022年07月19日	5321575	西北工业大学	陈克安, 胥健, 王磊
5	发明专利	一种基于带限噪声的音频注入调控声场设计方法	中国	ZL202110278774.0	2023年07月18日	6145138	西北工业大学	陈克安, 叶睿, 李晗, 张珺, 邓云云, 李豪
6	发明专利	一种基于噪声主观评价抑制的有源控制误差滤波器设计方法	中国	ZL202110272958.6	2023年11月17日	6494282	西北工业大学	陈克安, 来昊, 王磊, 胥健
7	发明专利	一种封闭腔式PVDF薄膜扬声器	中国	ZL201810302987.0	2020年04月03日	3738273	西北工业大学	陈克安, 田旭华, 雷烨, 徐颖, 李晗
8	发明专利	一种基于有源降噪的误差传声及次级声源的故障检测方法	中国	ZL202010577868.3	2023年02月28日	5755430	西北工业大学	陈克安, 代海
9	发明专利	一种有源式微穿孔板吸声器及其提升其低频吸声性能的方法	中国	ZL202110115539.1	2024年05月03日	6966114	西北工业大学	马玺越, 陈克安
10	发明专利	一种具有阻抗匹配层的空间弯折吸声	中国	ZL201910723532.0	2022年12月27日	5670497	西北工业大学	任树伟, 曾向阳, 雷烨, 王

		超结构						海涛
--	--	-----	--	--	--	--	--	----

七、主要完成人情况（不超过 6 人）

（所列主要完成人应为在陕的个人，或与在陕个人合作的我国其他地域的个人，并对本项目的主要技术发明做出创造性贡献（其中完成人必须为全职在陕的个人）。同一人同一年度只能作为一个提名项目的完成人参加陕西省科技奖的评审。附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。

前三位完成人应为所列发明专利的发明人，其他完成人一般也应持有知识产权（含论文专著等）。

工作单位：根据人事关系填写完成人现工作的单位，已退休的填写退休前的工作单位。

完成单位：填写完成人参与本项目主要研究工作时所在单位，应为国内法人单位。如涉及多个单位，应根据贡献大小填写一个单位。完成单位与奖励证书关联，请根据实际情况审慎填写。

对本项目贡献：不超过 300 字。应具体写明完成人对本项目做出的实质性贡献。）

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
陈克安	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	提出和开发了舱室声场再现技术，研制了舱室声场地面模拟系统。开发了主动控制传感-作动器布局优化技术，提出了宽窄带混合主动控制算法。开发了基于主观评价的主动控制算法和音频注入式噪声烦恼感抑制技术，攻克了传感/作动设备故障自动检测难题，实现了空间降噪技术的工程化应用。
曾向阳	2	副院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	提出了基于空间脉冲响应匹配的舱室声源定位方法，实现了舱室强混响强干扰条件下的多声源精确定位。作为核心人员参与论证和推动了舱室有源

						噪声控制技术产业化工作。
马玺越	3	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	提出面向大型复杂封闭舱室低频降噪的宽窄带混合式主动控制算法，实现了舱室全空间稳定降噪。提出了基于分散式控制的双层加筋有源隔声结构技术和有源微穿孔板吸声器技术，构建出轻量化主被动复合降噪结构，具有结构紧凑、可模块化组装，通用性强的优势。深度参与了与本成果相关的工信部民机专项科研项目 2 项。
王海涛	4	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	提出基于脉冲响应匹配的封闭空间声源定位方法，可在较少的采样条件下实现准确的舱室声源定位，实现了复杂舱室声环境的高精度感知。深度参与了与本成果相关的工信部民机专项科研项目 2 项。
任树伟	5	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	提出了利用非等截面弯折空腔拓宽空间弯折超结构吸声带宽的方法，进一步与金属纤维材料和层合板结合，设计了兼具高降噪性能和高承载性能的声学超结构。同时与主动降噪技术融合，实现了轻量化可承压主被动复合降噪的目的。
王岩	6	无	工程师	上海思百吉仪器系统有限公司西安分公司	西北工业大学	提出和开发了基于球谐函数分解和平面波分解的舱室声场再现技术。针对

						<p>低频声场，提出了基于压缩感知的平面波分解改进方法，显著提高了声场再现精度，并在飞机舱室内获得了良好的实验验证，实现了复杂舱室声环境的高精度感知和舱室声场的高精度地面模拟。</p>
--	--	--	--	--	--	--

八、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	在完成本成果期间，主要完成人均为西北工业大学正式在编教师和学生，西北工业大学为本成果的完成提供了研究开发和工作条件，主要贡献包括：（1）提出了强混响环境下的声源定位方法，开发了基于稀疏测量阵列的动态声场再现技术，实现了复杂舱室声场的高精度感知，为主被动降噪设计提供了先验信息及试验/验证平台；（2）提出了大空间多通道自适应主动控制算法和传感-作动器件优化布局技术，实现了飞行条件下的舱内全空间稳定降噪，解决了复杂场景下主动降噪系统开发中的核心难题；（3）创建了面向听觉感受和轻量化可承压的主被动复合降噪技术，攻克了传感-作动设备故障自动检测难题，实现了空间降噪技术的工程化应用，为该成果的产业化奠定了技术基础。

九、完成人合作关系说明

（1）完成人陈克安、曾向阳、王海涛与马玺越共同立项获批了工信部民机专项项目《直升机舱内噪声控制设计技术研究》。在本项目中，陈克安、曾向阳与王海涛共同提出了复杂环境多源高精度定位方法，陈克安提出了复杂封闭舱室声场的高精度再现方法，从而实现了复杂舱室声场的高精度感知；陈克安与马玺越提出了面向大型复杂封闭舱室全局低频降噪的多通道自适应主动控制算法和有源微穿孔板吸声器技术，实现了飞行条件下的舱内全空间稳定低频降噪。

（2）完成人曾向阳、王海涛与任树伟提出将多孔材料嵌入变截面弯折超结构来获得阻抗匹配型多孔吸声超结构，实现被动降噪材料的轻量化以及与主动降噪技术的融合，满足了工程应用中的多元化需求。

（3）完成人陈克安与王岩提出了基于球谐函数分解和平面波分解的圆柱腔低频声场再现方法，利用压缩感知技术提高声场再现精度，并在飞机舱室模型内进行试验验证，实现了舱室声场的高精度感知。

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	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同立项	陈克安（1） 曾向阳（2） 马玺越（3） 王海涛（4）	2016.01	2019.12	直升机舱内噪声控制设计技术研究	附件 3-13

2	共同 知识 产权	曾向阳 (2) 王海涛 (4) 任树伟 (5)	2018.01	2019.07	一种具有阻抗匹配层的 空间弯折吸声超结 构	附件 3-7
3	论文 合著	陈克安 (1) 王 岩 (6)	2014.01	2017.12	Translations of spherical harmonics expansion coefficients for a sound field using plane wave expansions	附件 3-12
4	共同 知识 产权	陈克安 (1) 马玺越 (3)	2019.01	2021.01	一种有源式微穿孔板 吸声器及提升其低频 吸声性能的方法	附件 3-6