

2026 年度山东省技术发明奖提名公示信息

项目名称	重大工程装备结构服役安全监测与智能运维关键技术及应用		
提名者	山东大学	提名等级	一等奖
提名意见	我单位认真严格地审阅了该项目的提名书及全部附件材料，确认该项目符合山东省科学技术奖励规定的提名条件，全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，提名书相关栏目均符合填写要求。 重大工程装备承力结构的服役安全，是维护人民生命财产安全、保障国家重大工程顺利推进的重要前提。《“十五五”规划和 2035 年远景目标纲要》等将智能运维列为战略性新兴产业重点发展方向。该项目在国家自然科学基金、国家重点研发计划、工信部重点项目、山东省重大科技创新工程和校企合作等项目的支持下，以突破跨尺度损伤表征、多模态可配置监测、数字孪生智能预测核心技术为目标，聚焦解决全生命周期损伤演化状态精准量化难、多场景通用监测技术缺失与结构服役状态智能诊断精度不足等突出问题，重点创新性发明了重大工程装备跨尺度损伤演化分析与精准表征新方法、多场景适配可配置式结构监测协同感知新方法和数字孪生驱动多源数据智能融合与动态预测新方法，完整建立了“机理模型-硬件装置-软件平台”三位一体技术体系。 该项目申请国家发明专利 36 项（含美国专利 2 件），软件著作权 24 项，发表 SCI、EI 检索学术论文 45 篇，形成了完整的自主知识产权体系。该项目发明的技术及仪器通过了权威部门的计量、认证和鉴定，成果已在航空航天、轨道交通和基础设备等领域开展了多项标志性应用。项目研制的可配置式多传感监测系统搭载新技术试验卫星实现了我国光纤传感技术的首次空间应用，并陆续应用于新一代载人飞船、中国空间站天和核心舱、梦天实验舱和问天实验舱；作为关键结构健康监测系统应用于世界首辆时速 600 公里高速磁浮、复兴号/和谐号高速动车组、地铁等轨道交通车辆。项目成果还可推广应用于风电、核电、海洋工程等领域，具有显著的社会和经济效益。 经中国自动化学会组织专家鉴定认为：该成果整体技术达到了国际先进水平，承力结构多源感知与精准状态重构技术方法达到了国际领先水平。		

项目简介	本项目属于高端装备与智能制造领域，是支撑轨道交通、航空航天、基础设施等国家战略性支柱产业安全运行的核心共性技术。 本项目依托国家自然科学基金、国家重点研发计划、山东省重大科技创新工程及企业重大横向项目，历时 12 年持续自主创新，突破多尺度损伤表征、多模态可配置监测、数字孪生智能预测等核心技术，创建了重大工程装备结构服役安全监测与智能运维技术体系。主要发明点如下： 发明点一：发明了重大工程装备结构跨尺度损伤演化分析与精准表征新方法，攻克了复杂工况下结构失效机理模糊、多尺度损伤无法量化表征的行业难题。构建材料微缺陷、构件劣化、整体结构退化的跨尺度量化理论模型，揭示极端载荷、温变、腐蚀等多场耦合环境下结构失效的本质机理；研发宏-微观协同联动检测技术和结构全生命周期状态动态量化表征体系，为重大工程装备健康诊断与寿命预测提供核心理论支撑。 发明点二：发明了多场景适配的可配置式结构监测协同感知新方法，突破了传统监测技术场景适配性弱、参数采集孤立、通道配置固化的技术短板。创建模块化可重构监测架构与动态参数适配策略，构建多装备、多场景通用的标准化感知技术体系；发明多参数同步采集算法，解决多维度监测数据时序错位、同步性差的行业痛点；研制定配极端工况的轻量化监测板卡与一体化集成装置，配套环境自适应优化算法，实现 5 类物理参数同步采集，在宽温域、强电磁干扰环境下稳定运行。 发明点三：发明了数字孪生驱动的多源数据智能融合与动态预测新方法，破解了多源异构数据融合失效、虚实映射滞后、退化预测精度不足的技术瓶颈。创立自适应多源数据智能清洗与融合算法，构建装备实体与数字孪生体实时同步映射机制，解决虚实模型时序脱节难题；创建物理机理与数据协同驱动的退化预测模型，将剩余寿命预测精度提升至 92% 以上，实现装备运维从“被动检修”到“主动预判”的范式革新。 本项目形成“机理模型-硬件装置-软件平台”三位一体的完整技术体系，构建了完善的知识产权保护体系，获国家发明专利 36 项（含美国专利 2 项），软件著作权 24 项，发表 SCI、EI 检索学术论文 45 篇。成果已成功应用于中国空间站、航空飞行器、高速动车组、时速 600 公里高速磁浮、资兴高速公路桥隧、济南黄河大桥等 30 余项国家重大工程，经中国自动化学会组织专家鉴定核心指标达到国际领先水平，经济社会效益显著。 本项目突破了重大工程装备智能运维的核心技术瓶颈，推动了我国航空航天飞行器、轨道交通车辆装备与大型基础设施运维产业的技术进步和产业升级，为保障国家重大工程安全、支撑山东省高端装备制造业高质量发展做出了重要贡献。成果可进一步推广至风电、核电、海洋工程等领域，具有广阔的应用前景。
主要知识产权和标准规范等目录	

序号	知识产权 (标准) 类别	知识产权(标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准编号)	授权(标准 发布) 日期	证书编号 (标准批 准发布部 门)	权利人 (标准起草单位)	发明人 (标准起草人)	发明专利 (标准)有 效状态
1	发明专利权	Digital, Self-Diagnosis, Sensing Intelligent Layer Integrating Active and Passive Monitoring and Method	美国	US 12,000,799B1	2024-06-04	/	山东大学	姜明顺; 魏钧涛; 滕飞宇; 吕珊珊; 孙玲玉; 张雷; 张法业; 隋青美; 贾磊	有效
2	发明专利权	Probability Multiply-Sum Structural Damage Imaging Positioning Method and System Based on Delay Factor	美国	US 12,062,167B1	2024-08-13	/	山东大学	姜明顺; 孙玲玉; 吕珊珊; 魏钧涛; 张雷; 张法业; 隋青美; 贾磊	有效
3	发明专利权	条件生成式对抗网络与载荷应变线性叠加的应变监测方法	中国	ZL 2021 1 1348526.5	2024-07-09	7183206	山东大学	姜明顺; 程洋洋; 张雷; 张法业; 贾磊	有效
4	发明专利权	基于非线性声调制碳纤维复合材料螺栓早期松动检测方法	中国	ZL 2021 1 0192614.4	2022-11-29	5613218	山东大学	姜明顺; 秦小舒; 贾磊; 张雷; 张法业; 隋青美; 吕珊珊	有效
5	发明专利权	强噪声背景下的复合材料损伤定量识别方法及系统	中国	ZL 2019 1 0458874.4	2020-11-06	4077786	山东大学	姜明顺; 苏晨辉; 张法业; 张雷; 曹弘毅; 马蒙源; 隋青美	有效
6	发明专利权	一种连续系统时域动态载荷识别方法及系统	中国	ZL 2022 1 0645669.0	2025-05-06	7917925	山东大学	姜明顺; 程洋洋; 张雷; 张法业; 隋青美; 贾磊	有效
7	发明专利权	一种轨道车辆的结构完整性评估方法、装置及设备	中国	ZL2021 1 0528017.4	2022-12-13	5641351	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	刘韶庆; 梁建英; 彭畅; 李一哲; 马龙	有效
8	发明专利权	基于信息熵与互信息冗余剔除原理的传感器布局优化方法	中国	ZL 2025 1 0586322.7	2025-07-25	8107032	南京航空航天大学	曾捷; 崔金鹏; 王景霖; 李立早; 王世奥; 姜明顺; 马洪锋; 张超; 季宏丽	有效
9	发明专利权	一种基于静态响应损失参数识别的传感器优化布置方法	中国	ZL 2024 1 0199344.3	2024-05-14	6993671	中铁十四局集团铁正检测科技有限公司	刘国飞; 孟令强; 臧腾; 盛伟伟; 郑德馨; 陈德健; 闫明; 孙荟程; 王汉滨	有效
10	发明专利权	一种承载结构应变场与三维形变在线可视化方法及系统	中国	ZL 2022 1 0503349.1	2025-04-04		山东大学	张雷; 徐涛; 姜明顺; 张法业; 隋青美; 贾磊	有效

主要完成人情况				
位次	姓名	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	姜明顺	山东大学	山东大学	项目负责人，负责项目总体研究方案的制定及实施，对技术发明点 1、2、3 做出了贡献。对发明点 1：建立跨尺度退化耦合理论，提出宏微观协同损伤表征方法；对发明点 2：提出多场景协同感知与时域损伤定位方法，构建非线性超声导波/线性超声导波/光纤/声发射/振动耦合损伤诊断模型，研发可配置分布式监测成套装置；对发明点 3：提出多源异构数据智能融合算法与虚实同步映射机制，完成整套数字孪生监测系统研制与多领域工程应用推广。
2	刘韶庆	国家高速列车青岛技术创新中心	国家高速列车青岛技术创新中心	项目主要研发人员，负责高速列车监测技术方案与技术实施验证工作，对技术发明点 2 和 3 做出重要贡献。对发明点 2 的具体贡献为：聚焦高速动车组复杂承力结构监测需求，结合关键部件服役特征，构建集“感知-传输-诊断-预警”功能于一体的结构健康监测系统架构。对发明点 3 的具体贡献为：面向我国高铁大规模安全运营带来的高密度列车集群监测需求，构建基于数字孪生运维平台，统筹多源异构监测数据的治理与特征挖掘，实现动车组全寿命周期状态演化实时监控与重大运营故障预防。
3	牛步钊	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	项目主要研发人员，负责跨尺度损伤表征与多场景适配感知方法的协同攻关，对技术发明点 1、2 做出了重要贡献。对发明点 1 的贡献是：主导完成了轨道车辆承力结构跨尺度损伤演化验证方案，为精准表征损伤演化规律提供了核心支撑。对发明点 2 的贡献是：确立了轨道车辆承力结构在线监测多模态传感器布局方案，解决了复杂曲面结构分布式传感部署的核心难题，并主导了重大工程装备结构服役安全监测与智能运维系统在和谐号/复兴号高速动车组、时速 600 公里磁浮和多型城轨列车上的工程验证。
4	曾捷	南京航空航天大学	南京航空航天大学	项目主要研发人员，对技术发明点 1 和发明点 3 做出了重要贡献。对发明点 1 的贡献是：提出了飞行器结构分布式光纤应变/温度场高精度解调方法，建立了基于有限测点应变响应的结构载荷/应力场反演重构模型，实现了飞行器关键结构在复杂热力环境下动应力精准感知。对发明点 3 的贡献是：研发了面向大尺寸飞行器结构的多类型光纤传感器协同布设方案与多源传感信息融合策略，提出了光纤智能传感层与结构数字孪生模型深度融合技术。
5	刘国飞	中铁十四局集团铁正检测科技有限公司	中铁十四局集团铁正检测科技有限公司	项目主要研发人员，负责本项目数字孪生智能预测方法在桥梁隧道等基础设施领域的工程验证，对技术发明点 3 做出了重要贡献。具体贡献是：构建了桥梁、隧道等复杂结构状态监测系统现场验证体系，组织了数字孪生预测方法在桥隧结构运维现场的数据验证与功能评估工作，完成了多源数据融合算法与智能预测模型在真实桥梁、隧道监测数据流中的效果评估。

6	彭畅	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	项目主要研发人员，负责本项目可配置式结构监测协同感知新方法的企业端工程验证工作，对技术发明点 2 做出了重要贡献。具体贡献为：确立了多场景适配监测系统在轨道交通领域的现场验证方案，结合高速动车组转向架、受电弓等典型结构在真实服役环境下的动态载荷特征与空间约束条件，组织完成了柔性智能传感层的贴合工艺适配性测试、板卡式模块化监测系统在不同温湿度及振动工况下的可靠性验证。
7	范龙庆	国家高速列车青岛技术创新中心	国家高速列车青岛技术创新中心	项目主要研发人员，负责可配置式结构监测协同感知新方法在高速列车领域的需求分析与验证工作，对技术发明点 2 做出了重要贡献。具体贡献为：完成了面向高速动车组复杂承力结构监测需求梳理与分析，结合转向架、车体连接等关键部位在真实服役环境下的载荷谱特征及空间约束条件，明确了柔性智能传感层的技术指标与工程适用边界条件，为可配置式模块化监测系统的功能定义与参数设定提供了需求依据。
8	李秀东	中铁十四局集团有限公司	中铁十四局集团有限公司	项目主要研发人员，负责桥梁隧道工程装备智慧运维系统的工程验证工作，对技术发明点 2、3 做出了重要贡献。对发明点 2 的贡献为：确立了大直径盾构及桥梁结构监测系统现场验证方案；开展了板卡式多传感协同检测系统在桥梁隧道施工与运营期的同步采集精度验证与系统稳定性评估。对发明点 3 的贡献为：研发了基于数字孪生技术的盾构施工综合管理平台，确立了虚实同步逻辑框架与远程通信数据同步方案。
9	张安	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	项目主要研发人员，负责本项目数字孪生驱动的智能融合与动态预测方法验证与应用推广，对技术发明点 3 做出了重要贡献。具体贡献为：构建了轨道交通领域多源监测数据工程验证体系，组织制定了智能融合算法在真实数据流中的处理效果评估与参数调优方案、面向工程应用的异常数据判定准则与数据质量分级标准，负责相关智能预测功能模块在用户现场的试点运行、操作培训与运维流程嵌入工作。
10	秦小舒	山东建筑大学	山东建筑大学	项目主要研发人员，对技术发明点 1、3 做出了贡献。对发明点 1 的贡献是：构建了高次谐波、调制边带、共振频移等多维高敏感性损伤表征体系，解决了早期微损伤的非线性声学表征与反演难题；对发明点 3 的贡献是：提出了无基准的超声导波宽带混频激励法，构建了物理知识-时变数据协同驱动的结构损伤智能诊断网络架构，实现了多尺度损伤在全生命周期内的演化监测与早期预警。
11	张雷	山东大学	山东大学	项目主要研发人员，对技术发明点 2、3 做出了贡献。对发明点 2 的贡献是：开展了高分辨力/高速光谱智能分析理论与关键技术研究，突破了高灵敏度光信号采集与控制硬件技术，自主研制了多类型分布式光纤传感仪器。对发明点 3 的贡献是：提出了多型重大装备复杂结构状态监测与评估新方法，自主研制了大型监测系统（包括传感器网络、大容量硬件装置、在线控制与远程监控软件、智能分析算法等）。

12	魏钧涛	青岛艾诺仪器有限公司	青岛艾诺仪器有限公司	项目主要研发人员，负责损伤精准表征新方法轻量化监测板卡集成装置的攻关，对技术发明点 1、2 做出了重要贡献。对发明点 1 的贡献是：研究了金属/碳纤维复合材料结构冲击、腐蚀损伤的定量评估方法，为揭示损伤演化规律、实现损伤精准表征提供了核心支撑；对发明点 2 的贡献是：开发了超声导波、声发射等检测技术板卡，并进行整体性能测试，完成了其在和谐号/复兴号高速动车组、时速 600 公里磁浮和多型城轨列车上的工程验证。
13	王霞	国家高速列车青岛技术创新中心	国家高速列车青岛技术创新中心	项目主要研发人员，对技术发明点 3 做出了重要贡献。具体贡献为：组织完成了面向轨道交通车辆结构健康监测的海量现场数据治理与特征分析工作，对超声导波、光纤光栅、声发射、振动等多类传感器实测数据进行系统性统计分析；梳理了运维人员在实际巡检、故障排查及维修决策中的信息需求，将其转化为数字孪生预测平台的功能需求清单与交互优化建议。
14	苏晨辉	山东建筑大学	山东建筑大学	项目主要研发人员，对技术发明点 1、3 做出了贡献。对发明点 1 的贡献是：开展导波传播理论与智能检测方法研究，阐明各向异性层合板多模态导波频散、缺陷散射耦合机理；对发明点 3 的贡献是：提出免参考信号的 Lamb 波层析损伤成像方法，利用阵列导波飞行时稀疏重构实现单/多脱粘缺陷高精度定位；提出多模态信号自适应解耦与轻量化稀疏识别算法，构建“机理建模-信号解耦-层析成像-定量评估”完整理论方法体系。
15	孙玲玉	中国石油大学（华东）	山东大学	项目主要研发人员，对发明点 1 和发明点 3 做出了贡献。对发明点 1 的贡献：研究复杂环境与结构的损伤识别原理与技术方法，建立了典型结构中的超声传播特性与损伤响应模型，实现了损伤的定量识别。对发明点 3 的贡献是：发明了适用于稀疏传感阵列的物理增强时空图卷积损伤定位方法与时变温度下的基线重建自编码器无监督温度补偿方法，实现了复杂工况下的微弱损伤信息提取和损伤鲁棒定位。

主要完成单位情况

山东大学、国家高速列车青岛技术创新中心、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、南京航空航天大学、中铁十四局集团铁正检测科技有限公司、中铁十四局集团有限公司、青岛艾诺仪器有限公司、山东建筑大学