

中国振动工程学会科学技术奖推荐简表

(2026 年度)

一、项目基本情况

项目类别： ☒ 基础研究 ☐ 工程应用 ☐ 技术发明 序号： 编号： 2026-KJ1-027

项目名称	轻质复合材料薄壁结构高维非线性动力学理论与分析方法		
主要完成人	秦朝烨		
主要完成人	李晖		
主要完成人	刘云飞		
主要完成人	褚福磊		
完成单位	清华大学		
完成单位	东北大学		
推荐专家/推荐单位	中国振动工程学会非线性振动专业委员会	推荐等级	一等奖
联系电话	13426305511	邮箱	qinzy@tsinghua.edu.cn

二、项目简介

轻质复合材料薄壁结构是航空、航天、兵器、能源和轨道交通等重大装备实现轻量化、高承载和高机动性能的核心结构。然而，轻质化、薄壁化与复杂服役环境的共同作用，使其动力学问题由传统的“定常材料—理想边界—低维振动”演化为“时变材料—退化边界—高维强耦合非线性动力学”问题：一是复杂温度与振动载荷使复合材料模量和阻尼不再是定常参数，传统材料本构输入发生失真；二是真实装配界面具有柔性、耗能、非均匀及随服役状态退化等特征，经典固支、简支等理想边界假设难以描述真实载荷传递；三是几何大变形与力、热、电、磁多物理场耦合激活大量模态间的非线性能量交换，传统少模态、弱非线性分析难以完整捕获多解、内共振和分岔失稳等全局动力学行为。材料参数、装配边界和高维求解任一环节的失真，均会成为制约轻质复合材料薄壁结构强非线性动力学精确预示的基础理论瓶颈。因此，针对现有理论方法的不足，本项目围绕材料非线性本构关系表征、非经典连接边界模拟以及非线性振动多模态耦合求解三类问题开展深入研究，形成了轻质复材薄壁结构高维非线性动力学理论与分析方法。本项目取得的创新性成果如下：

(1) 发展了复合材料非线性本构关系力学表征与参数辨识方法，实现了复合材料本身具有温度和振动载荷依赖特征的精确刻画。构造了能够反映环境温度与振动幅值协同影响的复合材料参数非线性解析表达式，提出了高效迭代辨识方法，结合先进的测试方法与手段，建立了复合材料非线性本构关系力学表征与材料力学参数辨识体系，揭示了温度场、外界激励能量大小对复合材料薄壁结构振动响应的影响规律。印度国家

科学院、印度国家工程院院士 Vasant Matsagar 等知名学者评价该成果“提出了统一的迭代辨识方法”，“可用于确定复合材料参数”。

(2) 创建了任意边界条件下复合材料薄壁结构统一建模分析方法，能够反映真实装配关系力学特征及其连接性能的退化机制。采用分布式弹簧-阻尼器模拟复合材料薄壁结构间的装配关系，将其转化为非经典边界条件问题，构造了不依赖于边界假设的复合材料薄壁结构容许位移函数，提出了具有普适性的任意边界条件复合材料薄壁结构动力学建模分析方法，揭示了装配关系对薄壁结构振动特性的影响规律。加拿大皇家科学院、加拿大工程院、欧洲科学院、欧洲科学与艺术院院士 Quan Wang 等知名学者评价该成果“考虑一般边界条件”，“提出了高度统一的动力学解决方案”。

(3) 提出了复合材料薄壁结构高维非线性振动求解与分析新方法，阐明了非线性振动能量在各阶模态之间的传递机理。提出了复合材料结构非线性动态响应多自由度耦合求解算法，解决了强非线性系统中多模态耦合诱发的计算收敛难题，实现了复合材料薄壁结构高维非线性动力学问题的精确求解，阐明了多自由度系统中非线性动态特性与多模态共振间的深层耦合机理。欧洲科学与艺术院院士、新加坡工程院院士、澳大利亚工程院院士 Chien-Ming Wang 等知名学者评价该成果“提出了一种探究复材结构在多物理场下高维非线性动力学的新方法，能够精准捕捉非线性多自由度系统的多解和失稳特征”。

本项目研究成果发表在 J. Sound Vib.、Int. J. Mech. Sci.等振动工程领域国际权威期刊上。5 篇代表性论文共获 SCI 他引 800 余次，入选 ESI 高被引论文 3 篇、热点论文 2 篇，入选 2020 年度中国百篇最具影响国际学术论文 1 篇，入选 2022 年与 2024 年首都前沿学术成果各 1 篇，相关成果得到了包括 20 余位国内外院士、Fellow 在内的多位知名专家的正面评价和广泛引用，有力促进了相关学科对复合材料结构复杂非线性动力学行为的认识与应用。本项目所提出的轻质复合材料薄壁结构高维非线性动力学理论与方法，直接应用于航空航天薄壁结构动力学预示与优化设计，为成功实现航空发动机复合材料叶片、运 20 飞机货舱壁板和大型风机复材叶片的动力学预示、减振降噪处理、优化设计等重大工程问题提供了理论支撑，有力推动了机械动力学与非线性振动学科的发展，取得了显著的社会、经济及军事效益。