

附件 5

中国振动工程学会科学技术奖推荐书

(2021 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: 1 编号: 2021-KJ-201

推荐单位 或推荐专家		中国振动工程学会非线性振动专业委员会			
项目名称	名称	高端旋转机械装备转静子碰摩系统非线性振动的理论与方法			
	公布名				
主要完成人		马辉、韩清凯、闻邦椿、李朝峰、孙伟			
完成单位		东北大学			
主题词		旋转机械; 碰摩; 转子动力学; 非线性振动			
涉密项目是否解密		解密时间			
学科分类 名称	1	机械动力学与振动		代码	460.1520
	2	非线性振动力学		代码	130.2020
	3			代码	
所属国民经济行业		(C) 制造业			
所属科学技术领域		A3000 国家重点支持的高新技术领域/航空航天技术			
任务来源		A2-863 计划; A3-973 计划; D1-国家自然科学基金			
具体计划、基金的名称和编号: (1) 国家 863 计划, “航空发动机转子系统振动故障的定量诊断技术”, 2007AA042418; (2) 国防 973 项目, 2009JX973001; (3) 国家 973 项目课题, “多机组同步稳定与寿命均衡设计原理”, 2011CB706504; (4) 国家自然科学基金项目(青年基金), 大型离心压缩机转子系统的耦合碰摩故障机理若干关键问题的研究, 50805019; (5) 国家自然科学基金(联合基金培育项目), 航空发动机旋转叶片-涂层机匣碰摩机理及动力学特性研究, U1433109。					
已呈交的科技报告编号(仅限工程应用类、技术发明类项目填写): 无					
授权发明专利(项)		10		授权的其他知识产权(项) 3	
项目起止时间		起始: 2007 年 10 月 1 日		完成: 2017 年 2 月 15 日	

中国振动工程学会办公室制

三、项目简介

高端旋转机械装备（如大型离心压缩机、航空发动机等）转静子碰摩不可避免，严重碰摩可诱发转子反向涡动失稳、叶片出现掉角、裂纹等故障，目前对于高端旋转机械装备转子系统碰摩非线性振动机理的研究，已成为国际学术界与工业界公认的难题。转静子碰摩过程具有非光滑、强非线性的特点，且与转静子结构参数密切相关，诱发的非线性振动机理具有多样性，目前缺乏通用的数学模型和分析方法。在国防和民口 973、863 项目和国家自然科学基金项目的资助下，项目组历时 10 余年，在国际上首次提出了盘片组合转子刚柔耦合动力学新模型及两类转静子碰摩（转子-密封和叶片-柔性机匣碰摩）表征新方法，解决了传统转子动力学建模精度差、效率低，碰摩非线性振动机理不清的难题。主要发现点和科学价值在于：

1) 首次建立了盘片组合转子刚柔耦合动力学新模型。考虑转子弯扭耦合、陀螺效应、叶片安装角以及高速旋转导致的离心刚化、旋转软化、科氏力等组合因素影响，结合半解析和有限元方法，建立了盘片组合转子刚柔耦合动力学新模型，揭示了旋转状态下叶片和转子的振动耦合机制。克服了传统半解析方法精度差和传统有限元方法效率低的不足。该发现点被英国曼彻斯特大学 Bonello 教授评价为“was first solved”，“A new dynamic model”，并作为解释和佐证其仿真结果的标准。

2) 首次提出了两类转静子碰摩表征新方法。针对转子-密封碰摩，考虑复杂静子结构参数影响，基于接触理论提出了新的单点、多点及整周碰摩表征新方法；针对叶片-柔性机匣碰摩，考虑碰摩过程中叶片弯曲变形和机匣径向变形影响，根据能量守恒定律，提出了旋转叶片-柔性机匣碰摩表征新方法，揭示了侵入量、机匣刚度、摩擦系数、叶片几何参数与法向碰摩力之间的映射关系。克服了传统碰摩表征方法描述参数少、无法准确考虑静子结构参数的不足，可描述非线性碰摩力。加拿大麦吉尔大学 Legrand 教授等评价为“proposing a novel explicit formulation of the normal rubbing forces”。

3) 建立了转静子系统碰摩故障非线性振动分析的理论体系。针对转子-密封单点、多点和整周碰摩故障，揭示了碰摩过程中由于静子刚度影响，导致系统刚度时变所出现的倍周期运动及拟周期运动规律；针对叶片-柔性机匣碰摩，揭示了转子涡动对多叶片碰摩程度的影响机制，发现了转子和机匣非线性振动规律，明晰了碰摩诱发的机匣节径振动叠加机制；建立了针对高端旋转机械转子系统碰摩非线性振动分析的理论体系。该发现点被中国工程院陈予恕院士评价为“obtained substantial achievements on the blade-casing rubbing issues”。

项目组在 *Mech Syst Signal Pr*、*J Sound Vib*、*Nonlinear Dyn*、振动工程学报、机械工程学报等国内外权威期刊上发表 SCI 论文 47 篇，EI 论文 32 篇，出版专著 2 部，获批国内发明专利 9 项，国际发明专利 1 项；8 篇代表作被他引 395 次，其中 SCI 论文他引 272 次（2 篇论文入选 ESI 高被引或热点论文）。参与引用的有 18 个国家和地区的专家和学者，其中英国 IMA Fellow、Friswell M I 教授，加拿大工程院院士左明健教授，中国工程院院士陈予恕教授和高金吉教授，国际知名航空发动机公司如罗罗和 Snecma 技术人员的正面引用和评价。

第一完成人入选了教育部新世纪人才、辽宁省百千万人才（百人层次）、辽宁省“兴辽英才计划”青年拔尖人才。项目成果在航空发动机三代机、离心及轴流压缩机的转静子系统动力学设计及排故过程中进行了应用，对揭示碰摩故障非线性振动机理、明晰故障特征提供了全新的理论和方法支持。