

2026 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

面向航空发动机工作状态下转子的动力学特性分析方法

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省融办

提名意见：

转子作为航空发动机的核心旋转部件，其过大的振动会导致轴承负荷增大、进而引发异常工作甚至结构损坏等问题，显著影响发动机的寿命和可靠性。

该项目围绕提高转子不确定性动力学特性分析中的精度和效率问题，提出了多维椭球凸集模型的蒙特卡洛法、切比雪夫区间法等不确定性动力学分析方法，并采用区间精细积分法，解决了不确定性瞬态动力学分析中易出现的数值发散难题；提出了只需加速起车过程的瞬态响应即可开展转子平衡的无试重瞬态高速动平衡方法，适用于航空发动机的现场动平衡；结合经验模态分解，实现了非线性、非平稳振动信号的长时高精度预测和去噪；发现了结构在不同工作环境同阶模态振动的相关性规律，采用地面试验数据估算出转子在飞行环境的动力学响应；引入振动功率流分析方法，界定了故障影响下系统能量的输入与耗散特性，从能量流动角度阐明了故障引发转子周期运动失稳及自激振动的物理本质。该项目由杨永锋、邓旺群、秦卫阳、张显涛、赵仕博、马辉协同完成，相关研究工作已出版专著 2 部，培养硕士博士多名。研究结果已引起国内外同行的普遍关注，所发表的论文被国际重要期刊多次引用，所完成的工作、有关发现及提出的观点得到国内外同行的肯定。

鉴于该项目取得的创新性成果的重要科学价值和应用前景，我单位确认提名材料真实有效，符合陕西省自然科学奖的要求，提名该项目申报 2026 年度陕西省自然科学二等奖。

三、项目简介

团队围绕航空发动机工作状态下转子的动力学特性，开展了不确定性动力学响应、现场瞬态动平衡、信号处理方法等方面的研究，支撑了某型涡轴发动机的设计和试验，为提升我国航空发动机的运行可靠性、突破转子振动控制关键技术瓶颈提供了技术支撑，重要科学发现如下：

1. 建立了量化不确定性因素的椭球凸集模型，解决了不确定性动力学计算精度低和数值稳定性差的难题；
2. 提出了仅需旋转机械一次加速过程的瞬态响应即可开展动平衡的方法，适用于现场平衡；
3. 提出了转子非线性、非平稳振动信号的长时高精度预测和去噪方法，基于结构动态特性相关性准则设计了转子的动力学特性空地一致性试验方案。

上述工作对于提高转子的动力学性能、合理安排大修时间和预测剩余寿命都具有重要的工程意义，并可为航空发动机的动力学空地一致性试验提供方案。相关成果应用于中国航发湖南动力机械研究所某型涡轴发动机的研制中，缩短了转子的试验周期并节省了试验费用。受国防科技图书出版基金资助，在国防工业出版社出版专著《经验模态分解在振动分析中的应用》，此专著在中国图书统计引证分析数据库 2013-2016 年间收录的力学学科 2569 本著作中，被引次数排名第 15。该项目 7 篇代表性论文著作共计他引 520 次，代表性他引作者包括加拿大工程院 Chen Zengtao 院士、Sun Qiao 院士，中国工程院桂卫华院士、谭久彬院士、曹喜滨院士。

四、客观评价

主要发现点 1 的代表性客观评价如下：

- [1] 中国工程院曹喜滨院士在研究层合板非线性频率预测时评价“基于 MCS 的不确定性建模与分析在计算过程中会产生海量数据，这一问题可以通过多项式代理模型得到有效解决。”
- [2] IFToMM 国际转子动力学技术委员会主席 Cavalca Katia Lucchesi 教授识别滑动轴承参数时评价“识别并分类了转子不确定性来源的不同类型，同时详细评估并描述了不确定性下的转子动力学特性。”
- [3] 中国工程院桂卫华院士在研究红外热成像温度测量时评价：“阐述了测量不确定度是量化测量结果可靠性与分散程度的关键指标，对确保决策可靠性具有重要指导意义”。

主要发现点 2 的代表性客观评价如下：

- [1] 中国工程院谭久彬院士在研究参数识别时评价：“提出了一种全新的瞬态动平衡方法，该方法基于多模态分析，结合动态载荷识别技术实现对转子系统不平衡参数的辨识，基于转子系统动力学方程的基础坐标变换和多模态分析来计算瞬态激振力”。
- [2] IEEE Fellow 严如强教授与中国振动工程学会副理事长陈雪峰教授在研究同步全息平衡时评价：“不平衡引起约 70% 的故障，这是导致转子系统振动和灾难性故障的主要因素。提出了一种基于瞬态特性的转子系统动平衡方法，该方法从动力学方程出发，利用动态载荷识别技术评估转子系统的不平衡状态”。

主要发现点 3 的代表性客观评价如下：

- [1] 加拿大工程院 Chen Zengtao 院士在研究转子系统混沌运动时评价：“结合谐波平衡法提出了一种基于能量的方法，用于检测有裂纹故障的转子系统中的裂纹，并在裂纹转子试验台上进行了验证。此外，还应用了基于能量的方法来分析具有碰摩故障和浅裂纹的转子的动态特性，并使用实验信号验证了该方法。”
- [2] ASME Fellow Liao Wei-Hsin 教授在研究涡流诱导振动与尾流奔腾作用增强风能捕获时评价：“提出了一种结合涡激振动和驰振机构的非线性气动弹性

能量采集器，能够在 2-7m/s 的风速下实现快速运动和稳定的功率输出，为智能结构在阵风环境下的高效能量收集提供了途径。”

- [3] 加拿大工程院 Sun Qiao 院士在研究干摩擦阻尼器特性时评价：“揭示了系统响应分岔模式及其稳定性范围，为深入理解设计参数与运行条件对系统响应的影响提供了理论依据”。

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）

（按照表格所示栏目填写支撑本项目重要科学发现的代表性论文专著详细情况，不超过 8 篇，按重要程度排序。所列论文专著应公开发表 2 年以上即 2024 年 8 月 1 日以前公开发表。所列代表作及论文应以省内单位或个人为主要完成单位，署名第一单位（标号为 1 的单位）应为国内单位。

“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”、“第一作者（含共同第一作者）”和“国内作者”，均应基于论文的全部作者进行填写，不得只填写本项目完成人或少填漏填。

其中，“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”和“第一作者（含共同第一作者）”的姓名表述应与论文原文的署名保持一致，“国内作者”填写作者的中文姓名。

该表所列论文专著的知识产权归国内所有且无争议，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提名项目中作为支撑材料出现。用于提名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作者的同意，其中，未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者）已出具知情同意书面签字意见，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。）

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	经验模态分解在振动分析中的应用	国防工业出版社	杨永锋, 吴亚锋	2013 年	2013-11-01	杨永锋	杨永锋	杨永锋, 吴亚锋	233	中国图书引证统计分析数据库	是
2	高速转子动平衡技术	科学出版社	邓旺群, 任兴民	2017 年	2017-03-01	邓旺群	邓旺群	邓旺群, 任兴民	8	中国图书引证统计分析数据库	是
3	A state-of-the-art review on uncertainty analysis of rotor systems	Mechanical Systems and	Fu Chao, Sinou Jean-Jacques, Zhu	2023 年 183	2023-01-15	Yang Yongfen	Fu	傅超, 路宽,	106	Web of	是

		Signal Processing	Weidong, Lu Kuan, Yang Yongfeng	卷 109619		g	Chao	杨永锋		Science	
4	Harvesting wind energy with bi-stable snap-through excited by vortex-induced vibration and galloping	Energy	Qin Weiyang, Deng Wangzheng, Pan Jianan, Zhou Zhiyong, Du Wenfeng, Zhu Pei	2019 年 189 卷 116237	2019-12-15	Zhou Zhiyong	Qin Weiyan	秦卫阳, 邓王蒸, 潘家楠, 周志勇, 杜文风, 朱培	72	Web of Science	是
5	A novel diagnosis indicator for rub-impact of rotor system via energy method	Mechanical Systems and Signal Processing	Zhang Xiantao, Yang Yongfeng, Ma Hui, Shi Mingming, Wang Ping	2023 年 185 卷 109825	2023-02-15	Yang Yongfeng, Ma Hui	Zhang Xiantao	张显涛, 杨永锋, 马辉, 史明明, 王平	51	Web of Science	是
6	Steady-state response analysis of cracked rotors with uncertain-but-bounded parameters using a polynomial surrogate method	Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	Fu Chao, Ren Xingmin, Yang Yongfeng, Lu kuan, Qin Weiyang	2019 年 68 卷 240-256	2019-03-01	Yang Yongfeng	Fu Chao	傅超, 任兴民, 杨永锋, 路宽, 秦卫阳	26	Web of Science	是
7	A novel transient balancing technology of the rotor system based on multi modal analysis and feature points selection	Journal of Sound and Vibration	Zhao Shibo, Ren Xingmin, Deng Wangqun, Lu Kuan, Yang Yongfeng, Li Lihui, Fu Chao	2021 年 510 卷 116321	2021-07-01	Yang Yongfeng	Zhao Shibo	赵仕博, 任兴民, 邓旺群, 路宽, 杨永锋, 李利辉, 傅超	24	Web of Science	是
合 计									520		

六、主要完成人情况（不超过 6 人）

（所列完成人应为在陕个人，或与在陕个人合作的我国其他地域的个人（**第一完成人必须为全职在陕的个人**），且是“代表性论文专著”主要学术思想的提出者，并在“代表性论文专著”中有署名。应按表格要求逐项填写。附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。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。

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，并注明代表性论文专著编号。
填报时括号部分内容删除。）

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
杨永锋	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 1、2 和 3 做出主要贡献
邓旺群	2	无	研究员	中国航发湖南动力机械研究所	中国航发湖南动力机械研究所	对发现点 2 做出主要贡献
秦卫阳	3	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 1 和 3 做出主要贡献
张显涛	4	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 3 做出主要贡献
赵仕博	5	无	博士生	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 2 做出主要贡献
马辉	6	无	教授	东北大学	东北大学	对发现点 3 做出主要贡献

七、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	西北工业大学作为第一完成单位，为相关科研提供了完备的平台和基地支撑，力学相关实验室具有一流的实验装置和数据采集、处理及分析设备，机械性能测试设备和超声疲劳试验平台等测试与监测分析设备，为项目研究以及实验分析提供了良好的软硬件条件。在人力、物力、财力等方面大力支持项目研究和成果应用，保证了项目成果的顺利完成。
中国航发湖南动力机械研究所	2	中国航发湖南动力机械研究所作为第 2 完成单位，为本项目提供了经费支持和工程验证平台，项目组针对转子相关理论研究开展了某型涡轴发动机动力涡轮转子的现场验证。在项目的整个进行过程中，中国航发湖南动力机械研究所保证了现场验证实施所需要的人力、物力和财力等条件，对试验进行组织、管理和协调，督促项目相关责任人和本单位项目管理部门支持试验验证工作的顺利完成。
东北大学	3	东北大学作为第 3 完成单位，有力的支撑了项目的实验室验证工作，为项目开展带叶片转子碰摩故障诊断提供了实验条件，保证了实验实施所需要的人力、物力，验证了项目的理论方法。

八、完成人合作关系说明

（应以第一完成人角度，介绍项目完成人之间的合作经历或合作关系，不局限于第一完成人与其他完成人的合作，也可以包括其他完成人之间的合作。）

本项目成果由本人与邓旺群、秦卫阳、张显涛、赵仕博、马辉等5位博士合作完成。

邓旺群研究员为本人团队项目合作单位专家，与团队联合开展了转子动力学领域多个国家重大型号任务的研究，与本人的博士生导师任兴民教授合作撰写专著《高速转子动平衡技术》。

秦卫阳为本团队教授，一直参与相关转子动力学的研究工作。

张显涛副教授为本人的博士生，在攻读博士学位期间已开始从事转子动力学的研究工作，毕业留校后在课题组中继续进行相关方面研究。

赵仕博与本人的博士生导师均为任兴民教授，是本人协助指导的博士生，

在转子动力学领域合作撰写了多篇高质量学术论文。

马辉教授在故障诊断领域与本人开展项目合作，并作为通讯作者联合撰写了多篇高质量论文。

此外，本人及邓旺群研究员、秦卫阳教授共同获得2013年陕西省科学技术奖三等奖。

6位完成人的合作方式主要包括参与课题组项目、合著论文、共同报奖等。