

2020 年度中国振动工程学会科学技术奖公示材料

一、项目基本情况

推荐单位：中国振动工程学会转子动力学专业委员会

项目名称：航空动力装备动力学相似理论与模型试验技术

完成单位：东北大学

主要完成人：罗忠，韩清凯，李晖，马辉，孙伟，张旭方，
汪博，林君哲，李雷，何凤霞，李玉奇

二、项目简介

航空发动机转子系统长期工作在高温、高压、高转速的工况下，受到机械载荷、气动载荷和热载荷的共同作用，极易引起转子振动过大的问题。此外，航空发动机结构复杂，研制周期长，且制造成本较高，因此，在工程实际中，直接采用原型结构进行试验往往存在很大限制，如试验成本高、试验周期长，针对故障特征的试验研究风险大且难以实施等问题。采用动力学相似模型试验可以很好地解决这个问题，不仅可以合理调整结构、材料和工艺，降低试验成本，还可以人为的控制主要影响因素，剔除次要影响因素，降低试验难度，缩短试验周期，有利于辅助设计和揭示故障特征本质。当前，本团队的相关研究成果，在国际上仍缺少完整的动力学相似理论及成熟的相似模型试验技术，仅意大利那不勒斯费德里克二世大学的 De Rosa 教授团队开展了构件级模型相似方法及试验技术研究，但还未能应用于复杂机械设备。因此，本项目开展的动力学相似理论及相似模型试验技术研究，通过相似模型再现原型的动力学特性，模拟原型的典型故障特征，再由模型试验数据反演原型动力学响应特征，不仅具有重要的理论研究价值，更具有重要的工程实际应用价值。

面向中国航发沈阳发动机研究所、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司等合作单位在五代机研制方面的需求，开展航空发动机典型结构件、转子-支承系统相似方法研究，建立和发展了面向转子系统的相似模型设计理论体系、典型故障动力学相似模型建立方法、由模型试验数据反演真实系统动力学特性的技术手段，解决了长期困扰转子系统动力学相似的技术瓶颈，指导实际工程应用。主要技术发明点如下：

1. **针对构件级、系统级和故障级的航空动力装备，建立了完善的动力学相似理论体系。**具体涉及近似相似关系与精确相似关系的推导方法，发展了几何适用区间的概念及其应用。

2. **提出了航空动力装备典型构件的动力学相似试验技术。**考虑航空发动机高温高压的工作环境，提出了叶片、轮盘、鼓筒等典型构件的动力学相似试验技术和动力学特性反演方法。

3. **提出了航空动力装备系统级动力学相似试验技术。**考虑叶片、转盘、鼓筒以及轴承等构件耦合、内外转子耦合效应，提出了从构件级上升为系统级的动力学相似试验技术，面向典型工况的试验，开展了基于试验数据的反演技术研究。

4. **提出了复杂转子系统典型故障特征再现的动力学相似试验技术。**面向航空发动机转子热弯曲、热不协调、碰摩、不对中以及不平衡等典型故障特征，提出了复杂转子系统典型故障特征复现与反演试验技术。

5. **提出了针对航空发动机高温高压的工作环境下的动态测试方法。**面向相似试验测试与反演，研发了 900° C 高温的动态应变计与耐高温粘结剂，提出了非接触式转子动态挠性线测试、多场耦合支点矢量变形测试，以及模型试验数据利用技术。

以上述科学理论与技术为核心，与中国航发沈阳发动机研究所、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司等长期进行合作，研发了多套动力学相似模型试验器，实现了大型典型结构件，以及复杂动力装备转子系统的试验问题，解决了典型故障转子系统的动力学试验要求。

获得授权国家发明专利 28 项，在国内外学术杂志和国际会议上发表论文 80 余篇。在动力装备多家相关研究所和生产厂应用推广，得到肯定和好评。自 2010 年起，近 10 年的研究实践证明，航空动力装备动力学相似理论与相似模型试验技术大幅度降低了试验成本与风险，促进了产业技术进步，具有较好的推广应用价值，经济效益显著。