

项目名称

高端旋转机械典型振动故障机理与溯源技术及应用

推荐单位

中国振动工程学会转子动力学专业委员会

申报等级

工程应用类一等奖

主要完成单位及贡献

1、东北大学。在本项目的研究过程中，东北大学牵头完成了复杂转子系统多层次动力学建模，提出了振动快速预测技术，形成了基于模型-数据融合的智能诊断技术，突破了典型故障振动机理及溯源技术，取得了一系列具有自主知识产权的原创性成果，研究成果相继应用于中国航发沈阳发动机研究所、沈鼓集团股份有限公司等企事业单位。

2、中国船舶集团有限公司第七〇三研究所。作为主要完成单位，设计了一种双机驱动齿轮传动装置拍齿振动模拟试验系统，提出了一种冲击疲劳概率寿命评估方法及系统，参与了齿轮传统系统动力学模型的构建。

3、中国北方车辆研究所。作为主要完成单位，设计了行星减速器用公转与自转的行星结构试验装置、履带车辆齿轮传动系统安装误差影响机制模拟装置及一种履带车辆变速箱直齿轮的轴系碰磨模拟装置，搭建了一种具有载荷与装配双模拟的滚动轴承试验装备，参与了轴系故障、齿轮故障机理分析及溯源。

4、沈鼓集团股份有限公司。作为主要完成单位，提出了可倾瓦轴承瓦支撑刚度的确定方法、压缩机机组基础载荷计算方法以及压缩机基础支撑刚度的确定方法，设计了相对应的试验台，并参与了构建了叶片碰摩影响的转子系统刚柔耦合动力学模型，分析了碰摩诱发的振动特性。

5、江苏省金象传动设备股份有限公司。作为主要完成单位，设计了考虑齿轮不对中与齿面偏载的齿轮疲劳试验机，提出了薄轮缘齿轮系统固有特性及节径振动预估方法以及考虑延长啮合和齿圈柔性的内啮合齿轮副啮合刚度计算方法，参与并改进了齿轮副啮合力学参数解析表征方法。

6、哈尔滨工程大学。作为主要完成单位，提出了基于微观润滑的球轴承动力学特性预测方法以及混合润滑-接触状态的船用齿轮次表层应力计算方法，发展了燃机轴承胶合失效预测方法，实现了燃机动力涡轮端轴承-转子系统的故障定位，参与了轴承故障机理分析及故障溯源。

7、辽宁省安全科学研究院。作为主要完成单位，针对旋转机械发生故障时振动信号的不平稳性，利用时频分析中的小波尺度图和再分配后的小波尺度图对点碰摩、松动、裂纹和油膜失稳故障进行对比分析，参与提出了状态监测及智能诊断算法。

8、北京航星测通科技有限公司。作为主要完成单位，开发了宽频振动测试及诊断系统，大幅提升了高频段振动响应测量精度，显著提升了小样本工况下的诊断精度，参与构建了状态监测指标及诊断算法。

主要知识产权和标准规范等目录

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
发明专利	一种计算柔性圆柱滚子轴承时变刚度的解析-有限元方法	中国	ZL20114 27157.4	2024-02- 13	6715624	东北大学,中国 北方车辆研究所	马辉, 徐宏 阳, 赵 翔, 贺 昆, 贺 多, 杨 阳, 罗 忠, 李 旭, 李 响	有效
发明专利	一种修正的考虑鼓向修形的齿轮副啮合特性分析方法	中国	ZL 201710 329619. 0,	2019-07- 19	3459783	东北大 学	马辉, 孙衍宁, 冯盟蛟, 李占伟, 段田堂	有效
发明专利	一种转子-叶片耦合系统固有频率的确定方法	中国	ZL 201410 384747. 1	2017-03- 22	2422531	东北大 学	马辉, 太兴 宇, 吴 志渊, 闻邦椿	有效
发明专利	一种不对中球轴承支撑力计算方法	中国	ZL 202111 206286. 5	2024-11- 15	7522888	中国北 方车辆 研究所, 东 北大学	杨阳, 王鹏 飞, 马 辉, 徐 宏阳	有效
发明专利	一种含保持架断裂的球轴承-转子系统动力学建模方法	中国	ZL20221 051682 8.7	2024-09- 13	7369819	东北大 学, 中 国北方 车辆研 究所	杨阳, 马辉, 徐宏 阳, 王 鹏飞, 赵翔, 田津 源, 李 旭, 罗 忠, 韩 清凯	有效
发明专利	一种基于动态啮合力的齿轮副磨损量预测方法	中国	ZL 201910 195352. X	2022-10- 04	3908043	东北大 学	马辉, 皇甫一 樊, 陈 康康, 李娜, 赵百顺	有效

发明专利	一种改进的旋转叶片-柔性机匣碰摩力确定方法	中国	ZL201710268588.2	2019-12-03	3616437	东北大学	马辉, 李炳强, 郭旭民, 孙帆, 谢方涛, 孙祺, 崔璨	有效
发明专利	基于矩阵恢复的滚动轴承微弱故障增强方法	中国	ZL201910647394.2	2020-05-12	3796113	东北大学	马辉, 俞昆, 付强, 曾劲	有效
发明专利	仿真数据驱动的旋转机械深度半监督迁移诊断方法	中国	ZL202011002774.X	2024-02-20	6727043	东北大学, 中国北方车辆研究所	马辉, 俞昆, 杨阳, 罗忠, 李旭, 李响.	有效
发明专利	一种双机驱动齿轮传动装置拍齿振动模拟试验系统	美国	US12055457B2	2024-08-06	无	中国船舶重工集团公司第七〇三研究所	王鑫, 赵松涛, 姜雨霆, 杨龙, 蒋立冬, 戴光昊, 吴越, 马博昭, 叶盛鉴, 张健	有效

项目简表

项目名称	高端旋转机械典型振动故障机理与溯源技术及应用		
主要完成人	马辉		
主要完成人	赵松涛		
主要完成人	杨阳		
主要完成人	太兴宇		
主要完成人	王鑫		
主要完成人	闻邦椿		
主要完成人	吴宏登		
主要完成人	史修江		
主要完成人	王昆		
主要完成人	赵鑫		
主要完成人	陈阳		
主要完成人	董建峰		
主要完成人	李旭		
主要完成人	李凯华		
主要完成人	李硕		
完成单位	东北大学		
完成单位	中国船舶集团有限公司第七〇三研究所		
完成单位	中国北方车辆研究所		
完成单位	沈鼓集团股份有限公司		
完成单位	江苏省金象传动设备股份有限公司		
完成单位	哈尔滨工程大学		
完成单位	辽宁省安全科学研究院		
完成单位	北京航星测通科技有限公司		
推荐专家/推荐单位	中国振动工程学会转子动力 学专业委员会	推荐等级	一等奖

联系电话	13704016729	邮箱	huima@me.neu.edu.cn
项目简介			
<p>高端旋转机械（如航空发动机等）作为国防工业的核心装备，其核心部件（如转子、传动系统等）长期在复杂载荷激励与恶劣工况下运行，极易引发振动超限、耦合共振及疲劳损伤等问题。然而，当前面临多重挑战：缺乏高精度的动力学仿真技术，导致动力学性能难以满足高稳定性设计需求；振动产生机理不清，致使故障溯源困难，故障排除周期延长；有效的故障数据与诊断方法匮乏，制约了诊断精度的提升。在国防和民口 973、863 项目和国家自然科学基金等项目的资助下，项目组历时 10 余年，攻克了复杂转子系统动力学建模与振动快速预测技术、故障溯源和诊断技术，有效解决了仿真技术精度低、故障机理不清和溯源难的卡脖子问题。主要创新如下：</p> <p>（1）攻克了复杂转子系统多层次动力学建模及振动快速预测技术。针对滚动轴承和齿轮副因界面接触导致力学参数难以精确建模及求解效率低的问题，创新提出了滚动轴承刚度计算解析-有限元新方法，以及改进的齿轮副啮合力学参数解析表征方法。提出了从”零部件→子系统→系统”的高端旋转机械转子及传动系统多层次动力学建模方法，攻克了高端旋转机械核心部件建模精度差和效率低的关键技术难题。</p> <p>（2）突破了典型故障振动机理及溯源技术。提出了针对装配误差与保持架损伤的滚动轴承力学参数表征新方法、面向齿面剥落/磨损/齿根裂纹的齿轮副啮合力学参数表征方法以及叶片-涂层机匣碰摩表征方法，攻克了故障工况下力学参数难以精确表征的瓶颈；建立了基于“装配误差/极端载荷+不合理结构参数→典型故障机理→振动响应规律”的故障溯源技术体系；开发了故障转子动力学建模及振动特征仿真软件，突破了现有商业软件侧重结构设计而难以有效支撑故障溯源的技术局限。</p> <p>（3）形成了基于模型-数据融合的智能诊断技术。创新性地将一维振动信号转化为二维矩阵，作为稀疏与低秩矩阵恢复的观测数据，攻克了强背景噪声下典型故障微弱冲击特征难以有效提取的关键难题；通过高保真动力学模型仿真生成故障样本以解决数据稀缺问题，提出了模型-数据融合驱动的智能诊断方法，显著提升了小样本工况下的诊断精度；开发了宽频振动智能测试系统，大幅提升了高频段振动响应测量精度，增强了稳态及瞬态工况下的智能预警与诊断能力。</p> <p>（4）研制了振动模拟专用试验设备并掌握了核心测试技术。设计了双机驱动齿轮传动装置拍击振动模拟试验系统，攻克了现有技术无法有效模拟真实双机并车齿轮传动装置拍击振动的难题；开发了齿轮传动系统安装误差影响机制模拟试验装置，突破了中心距误差与轴向窜动难以量化表征的技术瓶颈；搭建了大型离心压缩机转子实验台，提出了压缩机基础支撑动刚度的测试与辨识技术，解决了低频段实测动刚度失真的技术难题。</p> <p>项目研究成果相继应用于中国航发沈阳发动机研究所、中国船舶集团有限公司第七〇三研究所、沈鼓集团股份有限公司、哈尔滨广瀚动力传动有限公司、中国北方车辆研究所等研究所和相关企业。项目围绕高端旋转机械转子系统动力学仿真、故障溯源和诊断等应用领域的基础理论和关键技术取得了一系列具有自主知识产权的原创性成果，推动了高端旋转机械装备的技术革新发展。先后获得了国家授权发明专利 58 项，软件著作权 11 项，制定国家标准 2 项、行业标准 1 项和团队标准 1 项；出版学术专著 2 部，发表学术论文 179 篇，其中被 SCI 论文 132 篇，EI 论文 47 篇。</p>			