

中国振动工程学会科学技术奖公示文件

项目名称

齿轮传动系统啮合力学参数表征方法及典型振动故障机理研究

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

基础研究类一等奖

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健康齿轮副时变啮合力学参数表征新方法，构建了故障演变中剥落形貌、裂纹扩展路径与啮合力学参数之间的映射关系，构建了齿轮传动系统弯-扭-轴多自由度刚柔耦合动力学模型，对理论研究成果进行了试验及推广。

2、**西安电子科技大学**。作为主要完成单位考虑斜齿轮啮合过程中轴向变形影响，创新性提出了斜齿轮副轴向刚度表征方法；参与了齿轮传动系统弯-扭-轴多自由度刚柔耦合动力学模型的研究。

主要知识产权目录

代表性论文专著

1. An improved analytical method for mesh stiffness calculation of spur gears with tip relief
2. An improved model for meshing characteristics analysis of spur gears considering fractal surface contact and friction
3. An improved time-varying mesh stiffness model for helical gear pairs considering axial mesh force component
4. Time-varying mesh stiffness calculation of cracked spur gears
5. Improved time-varying mesh stiffness model of cracked spur gears
6. Calculation of mesh stiffness of spur gears considering complex foundation types and crack propagation paths
7. Meshing and dynamic characteristics analysis of spalled gear systems: A theoretical and experimental study
8. Fault features analysis of cracked gear considering the effects of the extended tooth contact

项目简表

项目名称	齿轮传动系统啮合力学参数表征方法及典型振动故障机理研究		
主要完成人	马辉		
主要完成人	王奇斌		
主要完成人	闻邦椿		
主要完成人	皇甫一樊		
主要完成人	赵志芳		
完成单位	东北大学		
完成单位	西安电子科技大学		
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>以航空发动机为代表的高端旋转机械齿轮传动系统日益朝着结构轻量化和系统集成化方向发展，由于服役于高速重载、激励源多、激振频率高、啮合冲击大的恶劣环境，致使齿轮剥落和裂纹故障频发。齿轮啮合过程中存在时变啮合力学参数、外载荷以及剥落形貌/裂纹路径存在耦合关系，导致齿轮振动故障机理复杂，很难准确建立故障模式和系统振动之间的映射关系。在国防科工局重大工程项目、国家自然科学基金及多个研究所军工横向项目的资助下，项目组历时 10 余年，在国际上首次提出了健康及故障齿轮副啮合力学参数表征新方法，揭示了故障齿轮诱发的参激非线性振动机理，解决了传统方法计算精度差、效率低和故障机理不清的难题。主要创新性成果如下：</p> <p>1) 提出了健康齿轮副时变啮合力学参数表征新方法。该方法考虑了齿廓修形、变位、齿面摩擦和齿顶倒圆的影响，采用真实过渡曲线，修正了传统啮合刚度模型中将轮齿视为固定于基圆的变截面悬臂梁不合理假设；考虑轮齿变形导致的延长啮合、轮齿表面粗糙度和非线性接触影响，提升了双齿啮合区刚度计算精度；考虑斜齿轮啮合过程中轴向变形影响，创新性提出了斜齿轮副轴向刚度表征方法。研究成果获得 2023 年度 Elsevier Crossley Best Paper Award（2020-2021 年已发表的 680 余篇论文中遴选出 2 篇授予该荣誉），提出的方法被西班牙坎塔布里亚大学 Viadero F 教授称为“Hui-Ma approach”，葡萄牙波尔图大学 Seabra JHO 教授称为“Ma et al.’s model”，武汉理工华林教授称为“Ma’s model”。</p> <p>2) 考虑全生命周期内故障演变影响，创新构建了剥落形貌、裂纹扩展路径与啮合力学参数之间的映射关系。考虑真实剥落形貌对非线性 Hertz 接触刚度的影响，基于图像识别方法，构建了剥落形貌与界面接触刚度之间的映射关系；揭示了裂纹参数、载荷参数对弯曲和剪切刚度</p>			

的影响机制；创新性提出了全生命周期内用于计算剥落及裂纹齿轮副啮合力学参数的方法。研究工作被复旦大学杨振国教授(Eng Fail Anal 副主编)评价为“a novel time-varying mesh stiffness calculation model”，澳大利亚新南威尔士大学 Randall RB 教授团队、西南交通大学中国科学院院士翟婉明院士等多个研究团队采用申请人提出的方法开展了后续拓展性研究。

3) 构建了齿轮传动系统弯-扭-轴多自由度刚柔耦合动力学模型，揭示了故障诱发的参激非线性振动机理。考虑传动轴之间的弯扭轴耦合影响，建立了齿轮-转子系统刚柔耦合动力学新模型，揭示了弯曲、扭转、轴向振动耦合机制，丰富了齿轮-转子系统啮合力学参数时变诱发的参激振动理论体系；考虑剥落和裂纹两类典型故障诱发的力学参数时变影响，揭示了故障参数与系统非线性振动特征之间的映射关系。相关模型和方法已应用于中国航发四川燃气涡轮研究院、中国北方车辆研究所等多个军工单位，如中国北方车辆研究所应用证明指出“...清晰揭示了产品主传动介轮断齿故障的产生原因，为该型号的顺利进行提供了重要技术保障”。

在 Mech Syst Signal Pr、Mech Mach Theory、Eng Fail Anal、中国科学等国内外权威期刊上发表 SCI 论文 51 篇，EI 论文 14 篇，获批国内发明专利 11 项；8 篇代表性论文 Scopus 他引 1209 次，SCI 论文他引 993 次（4 篇论文入选 ESI 高被引论文）。参与引用的有 26 个国家的学者，包括中国科学院院士/美国工程院院士翟婉明教授、加拿大工程院院士 Mingjian Zuo 教授、中国工程院院士钟掘教授和项昌乐教授的正面引用和评价。第 1 完成人入选了教育部新世纪人才、科睿唯安“全球高被引科学家”(2023)和爱思唯尔中国高被引学者(2021-2023)。项目成果在航空发动机附件机匣齿轮箱、坦克传动系统和大型驱护舰减速箱排故过程中进行了应用，对揭示齿轮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。