项目信息

**一、项目名称**

滚动轴承剥落对应振动响应-新的特征提取理论及机理揭示

**二、申报奖种**

云南省自然科学奖

**三、提名者及提名意见**

提名者：昆明理工大学

提名意见：我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认该项目符合云南省科学技术奖励规定的提名条件，全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，提名书相关栏目符合填写要求。

滚动轴承是机械装备的关键基础部件，润滑不良或污染物进入会引起其滚动接触面发生剥落，剥落发生初期剥落区尺寸通常较小，在达到一定的损伤程度前设备尚可运行一段时间；同时，旋转机械通常振源较多，轴承剥落损伤初期对应的振动特征较弱，易被齿轮等较强振源的振动所淹没，且实际转速受载荷变化等影响存在波动。因此，在运行条件下对其损伤程度的评价和故障检测对保障设备工作精度和安全等有重要的学术研究和现实意义。项目组依托国家自然科学基金项目，围绕“滚动轴承剥落损伤对应振动特征”开展了创新性的基础理论研究，主要科学发现为: 一、推导构建了双冲击特征机理模型。分别基于时变接触刚度和位移激励、考虑弹流润滑、外圈剥落后边缘碰撞冲击力等关键双冲击动力学行为影响变量，构建了较为准确的轴承内圈、外圈剥落对应双冲击现象动力学机理模型，解决了双冲击特征的机理阐释和剥落区长度测量的理论基础。二、开创了滚动轴承弱特征提取的新途径。针对转速波动、多源耦合工况下轴承弱特征提取的难题，创新性地提出了基于共振解调包络提取的振源数目降维方法，结合阶次分析和振源降维方法成功地实现了传感器数量有限且振源数未知、转速波动和多源耦合工况下的轴承特征解耦分离提取。成果发表在机械领域顶级SCI期刊和国内高水平期刊上之后，产生了一定的国际和国内影响，并与其他相关重要论文被国内外学者所引用。上述成果对于推动故障检测技术和机械工程学科的发展有重要意义。

提名该项目为2023年度云南省自然科学奖 **二** 等奖。

**三、项目简介**

**1、主要研究内容**

设备关键零部件故障检测是一项国内外迅速崛起的先进制造技术，对提高生产力，避免设备精度下降和故障停机造成的经济损失具有重要的现实和前瞻意义。**滚动轴承是机械装备的关键基础部件，长时间工作后其滚动接触面会发生剥落，剥落初期剥落区尺寸通常较小，在达到一定的损伤程度前设备尚可运行一段时间，但随着剥落区的不断扩展，会引起较大振动并导致设备工作精度下降甚至故障停机。因此，运行工况下的剥落损伤程度客观评价及复杂条件下的弱特征提取成为了滚动轴承故障检测遇到的理论和技术障碍，是必须从根本上解决的重大科学问题。**

针对上述科学问题，项目组依托国家自然科学基金项目，围绕“滚动轴承剥落损伤对应振动特征”开展了创新性的基础理论研究，主要研究内容有: 一、推导构建了较为准确的轴承内圈、外圈剥落对应双冲击现象动力学机理模型和基于双冲击特征的剥落区长度测量理论。二、提出了基于共振解调包络提取的振源数目降维方法，实现了传感器数量有限且振源数未知、转速波动和多源耦合工况下的轴承特征解耦分离提取理论。

**2、2个主要科学发现点**

**科学发现点1：推导了新的轴承动力学故障机理模型。**本项目深入研究了滚动轴承剥落的双冲击现象机理，考虑基于时变接触刚度和位移激励、弹流润滑、滚动体碰撞外圈剥落后边缘冲击力等关键双冲击动力学行为影响因素，基于Hertz接触理论构建了轴承内、外圈剥落对应的双冲击现象动力学模型，**推导了**相对准确的剥落区长度估计理论公式，**诠释了**双冲击特征的机理，**建构了**剥落区长度测量的理论基础，从机理上**解决了**运行工况下滚动轴承剥落长度难以估计的问题。（见六、主要论文专著目录中论文3、4、6、7）

**科学发现点2：开创了滚动轴承弱特征提取的新途径。**针对转速波动、多源耦合工况下滚动轴承弱特征提取的难题，**创新性地提出了**基于共振解调包络提取的振源数目降维方法，结合阶次分析和振源降维方法成功地**实现了**传感器数量有限且振源数未知、转速波动和多源耦合工况下的滚动轴承特征解耦分离提取。**解决了**滚动轴承复杂工况下故障弱特征难以提取的难题，**丰富了**滚动轴承故障诊断特征提取的方法体系，为有效进行滚动轴承故障诊断提取提供了理论支撑。（见六、主要论文专著目录中论文1、2、5、8）

**3、发现点的科学价值**

上述成果的科学理论在国内外为首次阐明，拓展了现有理论，在科学理论上有创新，取得了突破性进展。该成果所揭示的科学规律及其研究方法被国内外学术界所引用。成果中的双冲击特征机理模型及剥落区长度估计解析公式、共振解调包络提取的振源数目降维方法，具有普适性，对于推动故障诊断技术和学科发展有重大意义。

**4、同行引用和评价**

本项目的主要论文3于2019年8月在SCI检索期刊Journal of Sound and Vibration发表后在国际上产生了一定的影响，被国际同行引用了34次。**哈尔滨工业大学**的Yunchuan Jiang等引用如下：“Luo研究了滚动体进入和离开缺陷区域引起的振动响应激励机制，建立了滚动体与缺陷区间相互作用的接触模型，并提出了一个用于估计缺陷区尺寸的分析模型”。主要论文1于2014年6月在SCI检索期刊Journal of Sound and Vibration发表后在国际上产生了一定的影响，被国际同行引用了61次。**北京大学**的Yongming Han、Ning Ding、Zhiqiang Geng和Zun Wang以及**美国哈佛大学**的Chong Chu引用如下：“Guo等人将包络提取与独立分量分析（ICA）相结合，在传感器数量有限且来源数量未知的条件下成功将ICA算法用于滚动轴承的故障诊断”。

**5、本项目发表的论文与SCI他引情况**

该项目发表与主要观点有关的论文8篇，包括SCI顶刊收录5篇和国内机械工程与故障诊断领域中文T1、T2期刊EI收录13篇。（其中，论文发表年中科院SCI期刊分区1区3篇，2区2篇，总影响因子20.794，见附件清单检索报告）被引总次数155次，其中SCI他引115次。

**五、代表性论文专著目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文（专著）名称 | 刊名（出版社） | Doi  | 发表（出版）时间 | 作者（按刊物发表顺序） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 他引总次数 | 检索数据库 | 通讯/一作（主编）是否为第一完成人 | 第一署名单位是否为第一完成单位 |
| 1 | Envelope extraction based dimension reduction for independent component analysis in fault diagnosis of rolling element bearing  | Journal of Sound and Vibration | 10.1016/j.jsv.2014.02.038 | 2020.10.19 | Yu Guo, Jing Na, Bin Li, Rong-Fong Fung | Yu Guo | Yu Guo | 43 | SCI-E | 第一作者 是通讯作者 是 | 是 |
| 2 | Fault feature extraction based on combination of envelope order tracking and cICA for rolling element bearings | Mechanical Systems and Signal Processing | 10.1016/j.ymssp.2017.03.050 | 2020.08.14 | Tangfeng Yang, Yu Guo, Xing Wu, Jing Na,Rong-Fong Fung | Yu Guo | Tangfeng Yang | 24 | SCI-E | 第一作者 否通讯作者 是 | 是 |
| 3 | An analytical model for estimating spalled zone size of rolling element bearing based on dual-impulse time separation | Journal of Sound and Vibration | 10.1016/j.jsv.2019.04.014 | 2020.05.18 | Maolin Luo, Yu Guo, Xing Wu, Jing Na | Yu Guo | Maolin Luo | 26 | SCI-E | 第一作者 否通讯作者 是 | 是 |
| 4 | Dynamic modeling and quantitative diagnosis for dual-impulse behavior of rolling element bearing with a spall on inner race | Mechanical Systems and Signal Processing | 10.1016/j.ymssp.2021.107711 | 2017.02.01 | Maolin Luo Yu Guo, Hugo Andre, Xing Wu, Jing Na | Yu Guo | Maolin Luo | 13 | SCI-E | 第一作者 否通讯作者 是 | 是 |
| 5 | Experimental investigation on double-impulse phenomenon of hybrid ceramic ball bearing with outer race spall | Mechanical Systems and Signal Processing | 10.1016/j.ymssp.2016.07.042 | 2018.12.28 | Yu Guo, Shou-Bao Sun, Xing Wu, Jing Na, Rong-Fong Fung | Yu Guo | Yu Guo | 13 | SCI-E | 第一作者 是通讯作者 是 | 是 |
| 6 | 考虑冲击力的球轴承外圈剥落缺陷双冲击现象动力学建模 | 振动与冲击 | 10.13465/j.cnki.jvs.2019.14.007. |  2019.7.15 | 罗茂林, 郭瑜, 伍星 | 郭瑜 | 罗茂林 | 23 | CNKI | 第一作者 否通讯作者 是 | 是 |
| 7 | 基于时变接触刚度的球轴承双冲击现象动力学建模 | 振动工程学报 | 10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2018.05.018. | 2018.10.15 | 罗茂林, 郭瑜, 伍星 | 郭瑜 | 罗茂林 | 11 | CNKI | 第一作者 否通讯作者 是 | 是 |
| 8 | Simultaneous faults identification of rolling element bearings and gears by combining kurtogram and independent component analysis | Journal of Vibroengineering |  / |  2015.5.15 | Yu Guo, Xing Wu, Jing Na, Rong-Fong Fung | Yu Guo | Yu Guo | 2 | SCI-E | 第一作者 是通讯作者 是 | 是 |
| 合计 | 155 |  |  |  |

**六、主要完成人（“主要完成人情况”摘自“主要完成人情况表”中的部分内容，公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献）**

1. 姓名：郭瑜；国籍：中国；排名：1/4；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：昆明理工大学 ；二级单位：机电工程学院；完成单位：昆明理工大学;参加本项目的起止时间: 2014.01至2019.12。

**具体贡献：**项目总负责人，对项目的科学发现点1中“基于双冲击现象的剥落区长度测量”、科学发现点2中“转速波动、多源耦合复杂工况下的滚动轴承特征提取相关理论”做出了创新性的重要贡献；是本项目所有论文的第一作者或通讯作者，是2个科学发现点工作的执行者与完成者，为项目完成起到了核心和主导作用。

**曾获奖励情况：**

**无。**

1. 姓名：伍星；国籍：中国;排名：2/4；技术职称：二级教授；行政职务：院长；工作单位：云南机电职业技术学院；二级单位：机电工程学院；完成单位：院长办公室；参加本项目的起止时间: 2011.01至2019.12。

**具体贡献**：项目参与人，对项目的科学发现点1中“基于时变接触刚度和位移激励、考虑弹流润滑、外圈剥落后边缘碰撞冲击力等关键双冲击动力学行的轴承内圈、外圈剥落对应双冲击现象动力学机理模型”进行了重要指导和建议。与项目负责人共同发表合作论文14篇，为项目完成起到了重要作用。

**曾获奖励情况：**

**无**。

3.姓名：罗茂林；国籍：中国; 排名：3/4；技术职称：讲师；行政职务：无；工作单位：重庆邮电大学；二级单位：先进制造工程学院 智能制造工程系；完成单位：昆明理工大学;参加本项目的起止时间: 2016.01至2019.12。

**具体贡献：**项目参与人，对项目的科学发现点1中“双冲击动力学行的轴承内圈、外圈剥落对应双冲击现象动力学机理模型” 做出了创新性的重要贡献。与项目负责人共同发表合作论文4篇，为项目完成起到了重要作用。

**曾获奖励情况：**

**无**。

4.姓名：杨堂锋；国籍：中国; 排名：4/4；技术职称：正高级工程师；行政职务：无；工作单位：昆明云内动力股份有限公司；二级单位：汽油机车间；完成单位：昆明理工大学;参加本项目的起止时间: 2017.01至2018.12。

**具体贡献：**项目参与人，对项目的科学发现点2中“基于约束独立分量分析（cICA）的滚动轴承故障相关的包络独立分量的解耦提取方法” 做出了创新性的重要贡献。与项目负责人共同发表合作论文1篇，为项目完成起到了重要作用。

**曾获奖励情况：**

**无**。

**七、主要完成单位（ “主要完成人单位”摘自“主要完成单位情况表”中的部分内容，公示单位名称、排名、对本项目主要学术贡献）**

1.完成单位：昆明理工大学； 主要学术贡献：第一完成单位昆明理工大学是本项目的依托单位，也是独立完成单位，负责项目的科技管理和研究进展情况审核，并为项目工作的开展提供了良好的计算机软、硬件平台及项目实验台架、测试设备等实验设施，以学术论文产权所有人发表国内外重要论文20篇，其中，中国科学院SCI期刊分区 1区论文3篇，2区论文2篇，和国内机械工程与故障诊断领域中文T1、T2期刊EI收录13篇。项目合作者在项目执行期内均为昆明理工大学全职教师和博士研究生。昆明理工大学为本项目的顺利完成和取得科技创新成果提供了有力的人力物力支撑和保障。