

陕西省科学技术进步奖提名书

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	高端数控机床主轴在线智能监测诊断及系列化应用
主要完成人	史江海，田维军，侯马骁，杨选宏，魏江，薛莹，黄孟虎，牛博雅，王军，刘佳宁
主要完成单位	西安交通大学，中航西安飞机工业集团股份有限公司

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	中共陕西省委军民融合发展委员会办公室	提名等级	☐ 一等奖 ☒ 二等奖及以上 ☐ 三等奖及以上
提名意见： 在高附加值航空零部件加工场景下，工件原材料与加工工序成本极高，机床主轴异常引发的超差、废品会带来巨大经济损失；同时突发故障会打乱产线生产计划，造成工期延误，对于连续化无人值守智能制造产线，无预警的主轴故障还会带来生产安全隐患。 针对上述问题，西安交通大学和中航西安飞机工业集团股份有限公司联合研制了高端数控机床主轴在线智能监测诊断及系统，通过机床主轴故障机理分析与信号高信噪比获取、多源多域健康指标构建与自适应预警、物理先验驱动特征对齐的故障迁移诊断等技术，实现了高端数控机床早期故障在线高精度辨识和诊断，变事后抢修、定期维修为预测性维护，有效规避了突发性停机事故，保护了昂贵主轴部件与高附加值航空工件，显著降低了废品率，提升了机床利用率和加工稳定性。该项目在 10 余家单位进行了推广应用，有力支撑了大型运输机、预警机、轰炸机、民用客机等重点型号的生产制造，产生了显著的经济和社会效益。 机床电主轴在线智能监测诊断及系统具有很强的先进性、创新性，实用性突出，整体性能优于美国哈斯、日本马扎克、德国德玛吉等高端机床的监测系统，达到国际领先水平。 对照陕西省科学技术奖授奖条件，提名该项目为 2026 年度陕西省科技进步奖二等奖及以上。 说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

二、提名意见（适用于专家提名）

姓 名						
专家类型	□国家最高科学技术奖获得者 □中国科学院院士 □中国工程院院士 □国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） □省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） □Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	□一等奖□二等奖及以上□三等奖及以上			
责任专家	□是 □否					
提名意见： 说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。						

三、项目简介

(限 2 页)

高端数控机床主轴作为整机的核心功能部件，直接决定工件加工精度、零部件质量与生产工期，在实际工程生产场景中，主轴长期承受高速旋转、交变切削载荷、冲击载荷、温度波动以及润滑等工况变化的综合作用，极易出现轴承磨损、转子不平衡、拉刀机构失效等故障。据统计，轴承故障是主轴失效的主要诱因，占比最高。早期主轴故障特征微弱，常规人工巡检很难识别，缺陷会随着运行时间逐步扩展，一旦缺陷发展至突发失效，会直接引发主轴抱轴、振动剧烈超标，严重时还会损伤昂贵主轴部件与高附加值航空工件。

在国家重点研发、陕西省国防科技工业“揭榜挂帅”等项目支持下，该项目建立了“主轴故障机理分析与多源信息完备获取-多源多域综合指标构建与自适应预警-物理先验驱动智能诊断”技术体系，解决了机床主轴健康监测中单一信号特征表征能力不足、早期微弱故障特征难以有效提取难题，打破美日德等发达国家垄断，实现了国产化系统研制，在立式加工中心、卧式加工中心、龙门加工中心进行了广泛应用，支撑了大型运输机、预警机、轰炸机、民用客机等重点型号的生产制造，有力推动了我国高端数控机床主轴装备领域的智能化升级与产业技术进步。

创新点 1：建立了机床主轴整机动力学模型，揭示了主轴微弱故障传递机理，构造了机理模型驱动、敏感测点优化与特征增强预处理相融合的数据高保真获取框架，破解了强时变切削干涉下监测信号畸变的难题，实现了故障频率精准预测与数据的高信噪比感知。

创新点 2：发明了多源多域综合监测指标构建与变工况自适应预警技术，解决了机床主轴健康监测中单一信号特征表征能力不足、早期微弱故障特征难以有效提取以及非正态分布、变工况数据下误报漏报率高等难题，实现了主轴早期微弱故障高精度辨识与变工况自适应阈值预警。

创新点 3：提出了物理先验驱动特征对齐的故障迁移诊断方法，构建了高保真仿真数据生成与加权局部最大均值差异子域对齐相融合的深度迁移诊断框架，解决了领域知识不对称与迁移表征能力受限的难题，实现了故障样本不完备条件下机床主轴轴承的跨工况迁移诊断。

创新点 4：基于以上技术，打破了美、日、德等发达国家技术垄断，研发了自主可控的系列化机床主轴在线监测诊断系统，故障机理、监测预警、智能诊断等关键指标优于美、日、德产品，实现了国产化替代与超越，推动了机床主轴智能化升级与产业技术进步。

四、客观评价

（限 2 页。围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

（1）开发的边缘计算采集处理仪通过了工信部电子第五研究所以及陕西软件测评中心的检定，具备监测指标计算及预警等功能。

（2）我国机床制造龙头企业秦川机床工具集团股份公司技术评价：该整体技术系统功能先进，填补了机床电主轴在线智能监测诊断领域的空白，具有显著的独创性、新颖性和实用性。该成果为机床企业实现从“事后维修”向“预测性维护”的转型升级提供了强有力支撑，有力推动了行业科技进步与智能化升级进程。

（3）陕西航空电气有限责任公司应用评价：机床电主轴在线智能监测诊断及系统具有很强的先进性、创新性，实用性突出；实现了德玛吉、哈斯、马扎克等数控机床早期故障在线高精度辨识和故障诊断，有力支撑了飞机主电源、电动机系统、涡扇/涡喷/涡轴各类航空发动机点火器/点火电嘴等生产制造。

（4）西安驰达飞机零部件制造股份有限公司应用评价：通过多源信号高信噪比采集、综合健康指标构建、早期故障自适应预警与故障智能诊断等技术，实现了高速桥式双横梁五轴加工中心以及大型五轴、三轴数控加工中心等高端数控机床主轴早期故障在线预警及故障诊断，避免电主轴部件损毁、高价值航空零部件报废，有力支撑了国产中型客机 C909、大型客机 C919、大型运输机运-20 和九天无人机等生产制造。

（5）IEEE Transactions on Reliability 主编、美国 Western New England University 教授 Zhaojun Steven Li、加拿大 UBC 教授、SPIE Fellow 刘征、加拿大工程院院士杨春生：“相关工作通过分布对齐与自训练，增强了无源数据条件下模型对目标域的适应能力。”；

（6）加拿大工程院院士、阿尔伯塔大学教授左明健：“通过特征分布学习，实现了由恒定转速工况向未知变转速工况的泛化迁移。”；

（7）德国 University of Duisburg-Essen 大学教授 Steven X. Ding、中国自动化学会会士周东华：“信息诱导特征分解与增强有效解决了非平稳工况下的轴承故障诊断问题。”；

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

西安交通大学-中航西安飞机工业集团股份有限公司联合自主研制的高端数控机床主轴在线智能监测诊断及系统，覆盖主轴故障机理与监测数据获取、多源异构信息融合与变工况动态监测预警、故障智能诊断等关键功能，形成“数据采集-特征提取-动态预警-故障诊断”一体化闭环运行体系。该整体技术在立式、卧式、龙门、铣车复合等 4 大类加工中心 50 余型号机床应用，实现了国产首台套五轴专用铣切设备加工中心等高端数控机床主轴早期故障在线预警及故障诊断，避免主轴部件损毁、高价值航空零部件报废，有力支撑了国产中型客机 C909、MA700，大型客机 C919、C929，波音 737、空客 A320，大型运输机运-20 和无人机等生产制造。主要应用单位如下：

（1）中航西安飞机工业集团股份有限公司：自主研发了国内首套国产化机床电主轴在线智能监测诊断及系统，突破了电主轴故障机理与监测数据高信噪比获取、多源异构信息融合与变工况动态监测预警、故障智能诊断等多项关键技术，解决了机床主轴故障漏报、误报频出问题，实现了主轴故障特征频率预测误差不超过 1%，故障漏报率、误报率均控制在 5% 以内，故障智能诊断识别准确率可达 95% 以上。

（2）中航天水飞机工业有限责任公司：该技术已成功应用于本公司歼击机/教练机/直升机整机维修/改装、航空零部件制造、无人机零件加工数控机床主轴在线监测预警与智能诊断业务场景，系统可对主轴运行状态实时监测，故障漏报率、误报率均控制在 5% 以内，故障智能诊断识别准确率可达 95% 以上。

（3）中航西飞汉中航空零组件制造有限公司：具备多源监测数据完备获取、多源多域健康指标构建与融合、自适应状态监测与早期预警、变工况智能故障诊断等功能，性能优于美、日、德等发达国家高端数控机床，为机床电主轴长期在线监测、异常状态预警和故障分析提供了系统化技术支撑，有力支撑了大中型军用运输机、歼击机、高教机等系列飞机关重结构件、零件等生产制造，创造了显著的经济效益和社会效益。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	基于数字孪生模型驱动的智能主轴微幅振动控制方法及系统	中国	ZL202210641177.4	2025.10.10	8347538	西安交通大学	史江海；曹宏瑞；陈雪峰
2	发明专利	一种面向时变工况的机床电主轴健康监测方法与系统	中国	ZL202510972972.5	2025.09.16	8265149	中航西安飞机工业集团股份有限公司；西安交通大学	田维军；薛莹；黄孟虎；惠阳；曹宏瑞；史江海；梁子怡
3	发明专利	数模联合驱动的轴承混合工况无监督域适应诊断方法及系统	中国	ZL202110420852.6	2023.06.13	6044366	西安交通大学	曹宏瑞；刘佳宁；苏帅鸣；史江海
4	发明专利	一种基于 ISVDD 和记忆重现的机床主轴宽度学习增量诊断系统	中国	ZL202511080875.1	2025.12.26	8605009	中航西安飞机工业集团股份有限公司	杨选宏；田维军；薛莹；魏洪杨；曹宏瑞；史江海；雷坤
5	发明专利	一种基于多维数据的五轴机床主轴状态分析方法及系统	中国	ZL202510601840.1	2025.07.15	8069296	中航西安飞机工业集团股份有限公司	刘海霞；薛莹；韩冰；史昊森；张梦雨；武岳
6	发明专利	基于加工反馈的五轴机床主轴状态动态监测方法及系统	中国	ZL202510578382.4	2025.07.15	8073641	中航西安飞机工业集团股份有限公司	王添；黄孟虎；张梦雨；刘杨子；刘训新
7	发明专利	面向终身学习的旋转机械在线智能故障诊断方法及系统	中国	ZL202111131737.3	2024.04.05	6867881	西安交通大学	曹宏瑞；付洋；史江海；魏江；陈雪峰

8	发明专利	基于深度小波极限学习机的轴承剩余寿命预测方法及系统	中国	ZL2021111130094.0	2023.08.18	6247422	西安交通大学	曹宏瑞;王磊;史江海;魏江;陈雪峰
9	发明专利	一种主轴回转状态下的动态特性测试装置及方法	中国	ZL201810317073.1	2019.12.24	3644112	西安交通大学	曹宏瑞;魏江;陈雪峰;张兴武
10	发明专利	一种用于超精密主轴的动平衡精度提升装置及方法	中国	ZL201810316200.6	2020.04.28	3773208	西安交通大学	曹宏瑞;魏江;陈雪峰;史江海

七、主要完成人情况表

姓 名	史江海	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	副教授/特聘研究员		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目总体负责人，对创新点 1、2、3、4 做出了主要贡献，提出了机床主轴故障机理分析方法、多源多域综合监测指标构建与变工况自适应预警技术、故障智能诊断技术，并开发了机床主轴在线智能监测诊断系统，实现了机床主轴变工况加工状态下的准确预警。			

姓 名	田维军	排 名	2
行政职务	中航西飞公司党委委员、工会主席		
技术职称	研究员级高级工程师		
工作单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
完成单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
项目主要完成人，对创新点 2、3、4 做出了实质性贡献。共同提出了机床主轴多源信息在线监测及变工况故障诊断技术，主导了机床主轴在线智能监测诊断系统在中航西安飞机工业集团股份有限公司、陕西航空电气有限责任公司等单位推广应用。			

姓 名	侯马骁	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	助理教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目主要完成人，对创新点 1、4 做出了实质性贡献。共同提出了机床主轴动力学建模及故障机理分析方法，为主轴故障特征指标构建及故障诊断技术提供了理论支持，参与了机床主轴在线智能监测诊断系统开发工作。			

姓 名	杨选宏	排 名	4
行政职务	主管师		
技术职称	高级工程师		
工作单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
完成单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
对本项目主要学术贡献： 项目主要完成人，对创新点 2、3、4 做出了实质性贡献。参与了综合健康指标构建、早期故障自适应预警与故障智能诊断等技术研发，并参与了机床主轴在线智能监测诊断系统研制工作。			

姓 名	魏江	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献：

项目主要完成人，对创新点 1、4 做出了实质性贡献。参与了机床主轴动力学建模、故障机理分析、多源信息高信噪比获取技术开发，并参与了机床主轴在线智能监测诊断系统开发工作。

姓 名	薛莹	排 名	6
行政职务	中航西飞公司党委委员、工会副主席（兼）、新时代巾帼班组“薛莹班”荣誉班长		
技术职称	技师		
工作单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
完成单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		

对本项目主要学术贡献：

项目主要完成人，对创新点 1、2、4 做出了实质性贡献。参与了多源信息高信噪比获取技术、综合健康指标构建、早期故障自适应预警技术研发，并参与了机床主轴在线智能监测诊断系统开发工作。

姓 名	黄孟虎	排 名	7
行政职务	中国航空工业集团首席技能专家、陕西省首席技师		
技术职称	高级技师		
工作单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
完成单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		

对本项目主要学术贡献：

项目主要完成人，对创新点 1、2、4 做出了实质性贡献。参与了多源信息高信噪比获取技术、综合健康指标构建、早期故障自适应预警技术研发，并参与了机床主轴在线智能监测诊断系统开发工作。

姓 名	牛博雅	排 名	8
-----	-----	-----	---

行政职务	公司副总工艺师
技术职称	研究员级高级工程师
工作单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司
完成单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司
对本项目主要学术贡献： 项目主要完成人，对创新点 1、3、4 做出了实质性贡献。参与了多源信息高信噪比获取技术、故障智能诊断技术研发，并参与了机床主轴在线智能监测诊断系统开发工作。	

姓 名	王军	排 名	9
行政职务	副单元长		
技术职称	高级工程师、高级技师		
工作单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
完成单位	中航西安飞机工业集团股份有限公司		
对本项目主要学术贡献： 项目主要完成人，对创新点 1、4 做出了实质性贡献。参与了多源信息高信噪比获取技术研发，并参与了机床主轴在线智能监测诊断系统开发工作。			

姓 名	刘佳宁	排 名	10
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	北京化工大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献：

项目主要完成人，对创新点 3、4 做出了实质性贡献。参与了主轴故障特征提取、故障智能诊断等技术研发，并参与了相关系统研制工作。

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
对本项目主要学术贡献： 西安交通大学是整个项目的组织与实施单位，全面负责项目管理、实施与保障。提供项目开发的主要人力资源与物质条件，提供开发场地和试验设备。项目在国家重点研发计划、陕西省国防科技工业“揭榜挂帅”项目等资助下，研发了高端数控机床主轴在线智能监测诊断及系统，形成了系列化产品，通过了工信部电子第五研究所以及陕西软件测评中心测试考核。西安交通大学长期派遣教师和学生深入中航西安飞机工业集团股份有限公司开展项目攻关工作。在项目完成基础研发之际，西安交通大学科研院等多个职能部门为帮助项目产业化做出了大量工作。	

单位名称	中航西安飞机工业集团股份有限公司
对本项目主要学术贡献： 中航西安飞机工业集团股份有限公司长期与西安交通大学开展高端数控机床主轴在线智能监测诊断及系列化应用方面的合作，联合开展了机床主轴故障机理与高信噪比获取、多源监测信号综合指标构建、动态阈值自适应预警、变工况故障智能诊断等关键技术攻关，结合自身在硬件开发、测试系统等方面的优势，为该项目的监测硬件系统研制做出了重要贡献。中航西安飞机工业集团股份有限公司研究团队负责产品的推广及应用，组织开展了大量的产品调试与试验工作。	

完成人合作关系说明

项目完成人史江海、侯马骁、魏江均为西安交通大学机械学院教职工，项目完成人刘佳宁博士毕业于西安交通大学机械学院，上述完成人合作开展基础理论和关键技术研究，共同开展了高端数控机床主轴在线智能监测诊断技术研究工作，为主要知识产权、论文的合作完成者。

项目完成人田维军、杨选宏、薛莹、黄孟虎、牛博雅、王军均为中航西安飞机工业集团股份有限公司职工，与西安交通大学一起开展数控机床主轴故障在线预警关键技术研究，共同研发了高端数控机床主轴在线智能监测诊断系统，并进行了系统推广应用工作。

项目完成人之间的详细关系如下：

史江海、田维军、薛莹、黄孟虎共同知识产权专利“一种面向时变工况的机床电主轴健康监测方法与系统”

史江海、杨选宏、田维军、薛莹共同知识产权专利“一种基于 ISVDD 和记忆重现的机床主轴宽度学习增量诊断系统”

史江海、侯马骁、田维军、薛莹共同发表论文“Optimization of robot posture and spindle speed in robotic milling”和“Force Control Based on Acceleration and Spindle Speed for Robotic Milling”

史江海、魏江共同知识产权专利“基于深度小波极限学习机的轴承剩余寿命预测方法及系统”和“一种用于超精密主轴的动平衡精度提升装置及方法”

史江海、刘佳宁共同知识产权专利“数模联合驱动的轴承混合工况无监督域适应诊断方法及系统”

杨选宏、牛博雅共同知识产权专利“一种可控转速的回转体灵活性测量装置”

田维军、薛莹、杨选宏、王军、牛博雅、黄孟虎共同立项“高端数控机床电主轴故障监测及诊断技术研究”

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	史江海/1 田维军/2 薛莹/6 黄孟虎/7	2020 年	至今	一种面向时变工况的机床电主轴健康监测方法与系统	附件-发明专利
2	共同知识产权	史江海/1 田维军/2 杨选宏/4 薛莹/6	2020 年	至今	一种基于 ISVDD 和记忆重现的机床主轴宽度学习增量诊断系统	附件-发明专利
3	论文合著	史江海/1 田维军/2 侯马骁/3 薛莹/6	2020 年	至今	Optimization of robot posture and spindle speed in robotic milling	附件-论文
4	论文合著	史江海/1 田维军/2 侯马骁/3 薛莹/6	2020 年	至今	Force Control Based on Acceleration and Spindle Speed for Robotic Milling	附件-论文
5	共同知识产权	史江海/1 魏江/5	2016 年	至今	基于深度小波极限学习机的轴承剩余寿命预测方法及系统	附件-发明专利
6	共同知识产权	史江海/1 魏江/5	2016 年	至今	一种用于超精密主轴的动平衡精度提升装置及方法	附件-发明专利
7	共同知识	史江海/1 刘佳宁/10	2019 年	至今	数模联合驱动的轴承混合工况无监	附件-发明专利

	产权				督域适应诊断方法及系统	
8	共同知识产权	杨选宏/4 牛博雅/8	2006 年	至今	一种可控转速的回转体灵活性测量装置	附件-发明专利
9	共同立项	田维军/2 杨选宏/4 薛莹/6 黄孟虎/7 牛博雅/8 王军/9	2018 年	至今	高端数控机床电主轴故障监测及诊断技术研究	附件-项目立项合同书