申报 2026 年天津市科学技术奖项目公示

一、项目名称：高高原民航发动机叶片退化传导机理与跨域寿命预测研究

二、提名单位：中国民航大学

三、提名奖种及提名等级：天津市自然科学二等奖

四、主要完成单位：

1 中国民航大学

2 哈尔滨工业大学

五、主要完成人：李双宝、付松、王浩、林琳、刘丹、赵慧敏、史磊、马梁

排名	完成人	职称	现工作单位	完成单位	主要贡献
2	付松	副教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	对发现点三有主要贡献。构建机理与数据融合的系统级跨域剩余寿命预测方法，提出时序记忆自编码器多参数融合与域不变深度残差长短时记忆网络，实现小样本无标签条件下的跨域寿命预测（代表性论文 1-7、1-4，第一作者）。
4	林琳	教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	对发现点三有主要贡献。提出面向多工况的性能参数自适应预测方法，建立随机森林集成极限学习机预测框架与遗传算法优化的双储备池回声状态网络，实现工况切换后关键性能参数的准确预测（代表性论文 1-3、1-5）。
5	刘丹	助理研究员	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	对发现点二有主要贡献。提出以正常样本结构为先验的无监督失衡故障辨识方法，真实航司 1047 条监测样本五折平均平衡准确率达 92.26%（代表性论文 1-6，第一作者）。

六、项目简介：

航空发动机是民航运输飞机的核心动力装置，高高原航线的特殊工况使叶片退化，进而经转子传导波及至整机。退化状态难辨识、传导演化机理不清、小样本跨域寿命难预测三个难点相互交织，已成为制约高高原航线民航发动机安全经济运行的技术瓶颈。为此，课题组在多项国家级课题资助下，采用“问题分析→理论构建→模型建立→实验验证→工程应用”研究思路，开展高高原民航发动机叶片退化传导机理与跨域寿命预测研究，取得了系列具有重要理论意义和应用价值的基础性研究成果。主要科学发现点如下：

1.提出了高高原航线叶片退化的多模态物理表征与精准感知方法。分析低气压、大温差、强沙尘的运行特点，发现了叶片退化与气动性能衰减之间的演化规律，建立了叶片近表面缺陷的物理可检测性边界，提出了复杂背景噪声下叶片损伤的深度学习智能识别方法，揭示了多模态观测条件下叶片早期退化特征的增强与可辨识机理，突破了叶片早期退化难以定量表征的源头感知瓶颈。

2.揭示了叶片退化向转子系统传导的耦合故障动力学响应与演化机理。分析叶片退化引起的质量与刚度不对称经轮盘—轴系向转子系统传导的力学路径，构建了转子系统不对中—碰摩耦合故障的非线性动力学模型，提出了非光滑碰摩界面下退化传导微弱特征的精准提取方法，揭示了叶片退化程度与转子振动响

应之间的确定性映射关系，解决了退化传导过程中的跨部件故障表征难题。

3.提出了机理约束下高高原小样本数据的系统级跨域寿命预测理论。分析高高原航线真实故障样本的系统性分布差异，发现了物理先验约束数据驱动模型的内在规律，构建了物理与数据融合的系统级剩余寿命预测模型，提出了机理约束下无监督表征与跨域自适应相结合的寿命预测理论，实现了高高原航线发动机维修决策由“定时维修”向“预知维修”的转变。

研究成果为突破高高原民航发动机叶片退化传导机理与跨域寿命预测研究难题提供了坚实的新理论方法支撑，并为故障预测与健康管理领域进一步研究提供了理论指导。10 篇代表作发表在 IEEE 会刊、中科院一二区等，受到了包括 17 位中外院士和 16 位国家级人才在内的 30 余个国家地区学者的高度评价与广泛引用，如中国科学院院士陈晓非评价为“高效的、准确的”、加拿大工程院院士王力翠评价为“有效的”等，引领了本学科及相关学科的发展。相关技术已在中国国际航空公司、北京飞机维修工程有限公司等单位应用，对社会发展具有重要的影响和价值。

七、主要技术支撑材料

【1】Shuangbao Li, Jingyi Yu and Hao Wang, Damages Detection of Aeroengine Blades via Deep Learning Algorithms, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2023, 72: 5009111.

【2】Huimin Zhao, Yongshun Gao and Wu Deng, Defect Detection Using Shuffle Net-CA-SSD Lightweight Network for Turbine Blades in IoT, IEEE Internet of Things Journal, 2024, 11(20): 32804-32812.

【3】Lin Lin, Fang Wang, Xiaolong Xie and Shisheng Zhong, Random forests-based extreme learning machine ensemble for multi-regime time series prediction, Expert Systems with Applications, 2017, 83: 164-176.

【4】Song Fu, Yongjian Zhang, Lin Lin, Minghang Zhao and Shi-sheng Zhong, Deep residual LSTM with domain-invariance for remaining useful life prediction across domains, Reliability Engineering & System Safety, 2021, 216: 108012.

【5】Shisheng Zhong, Xiaolong Xie, Lin Lin and Fang Wang, Genetic algorithm optimized double-reservoir echo state network for multi-regime time series prediction, Neurocomputing, 2017, 238: 191-204.

【6】Dan Liu, Shisheng Zhong, Lin Lin, Minghang Zhao, Xuyun Fu and Xueyun Liu, Highly imbalanced fault diagnosis of gas turbines via clustering-based downsampling and deep siamese self-attention network, Advanced Engineering Informatics, 2022, 54: 101725.

【7】Song Fu, Shisheng Zhong, Lin Lin and Minghang Zhao, A Novel Time-Series Memory Auto-Encoder With Sequentially Updated Reconstructions for Remaining Useful Life Prediction, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022, 33(12): 7114-7125.

【8】Huimin Zhao, Jianjie Zheng, Junjie Xu and Wu Deng, Fault Diagnosis Method Based on Principal Component Analysis and Broad Learning System, IEEE Access, 2019, 7: 99263-99272.

【9】史磊，杨光，林文俊，前缘侵蚀对风扇转子叶片气动特性的影响机理，航空学报, 2019, 40(10): 123007.

【10】马梁，王俊，鲁鑫，张桂昌，耦合故障转子系统 SFD 参数多目标优化，机械设计与制造, 2020(9): 252-257.

【11】王浩，吴易泽，胡怡宁，基于热风红外的航空发动机部件近表面缺陷在翼检测方法，发明专利，ZL202210577318.0, 2024 年 8 月 13 日.

【12】中国民航大学，航发叶片缺陷在线检测识别与分类软件 V1.0，软件著作权, 2021SR1213892, 2021 年 8 月 17 日.