

2023 年度中国振动工程学会科学技术奖公示材料

项目名称：领域泛化的机械装备故障表征智能适配与多尺度寿命预测理论及方法

提名者：中国振动工程学会故障诊断专业委员会

提名意见：

机械装备故障诊断与剩余寿命预测对保障其安全可靠服役至关重要，是国家重大战略需求。近年来，随着工业物联网、人工智能等技术的迅速发展，机械装备故障诊断与预测逐渐呈现出以振动监测大数据分析为核心的智能化发展趋势，并在实验场景下取得了良好的效果。然而，在工程场景下往往难以获取完备的高质量故障与全寿命退化数据，导致现有方法存在巨大挑战：（1）工程场景下装备型号差异显著、测点安装受限、工况变化不一，如何在缺乏同领域关键故障数据的情况下智能提取泛化故障特征？（2）现有迁移诊断方法通常假设不同领域故障模式相似，然而工程场景下无法提前预知装备潜在故障模式，如何实现不完备数据的智能迁移诊断？（3）机械装备全寿命周期性能退化随机性强、实测数据波动剧烈、退化速率时变，如何在装备性能动态退化的工程场景下实现剩余寿命准确预测？

针对以上三个关键难题，凝练出相应的关键科学问题：机械装备振动数据深度表征适配原理、工程场景未知故障模式的智能迁移诊断规律、装备性能动态退化的剩余寿命预测机制，并开展了系统性的研究工作：

（1）建立了机械装备振动数据深度表征智能适配理论，揭示了跨工况、跨测点、跨装备等领域泛化的伪故障数据生成机制与共性特征提取原理，为智能诊断与预测奠定了数据表征基础；

（2）提出了装备未知故障模式的深度领域自适应智能迁移诊断理论，建立了故障数据无监督自适应深度关联机制，实现了工程场景数据不完备下的领域泛化智能迁移诊断；

（3）构建了装备全寿命周期性能动态退化的循环一致性理论，阐明了多尺度退化特征集成的剩余寿命预测机理，攻克了退化速率时变下领域泛化的寿命预测难题。

项目 8 篇代表性论著被来自 52 个国家/地区三千余名学者在 315 种出版物上引用，受到美国、英国、加拿大等国家的十余名院士、ASME/IEEE 等国际权威

学会的二十余位 Fellow 正面评价，Web of Science (WOS) 他引 1200 余次，其中 5 篇入选 ESI 热点论文 (前 0.1%)，7 篇入选 ESI 高被引论文 (前 1%)。

项目形成了领域泛化的机械装备故障表征适配、智能迁移诊断、多尺度寿命预测理论及方法，开发了面向冶金制造、交通运输等应用场景关键机械装备的智能运维系统与平台，在中车唐山机车、山东冠洲、河钢唐钢等企业得到工程验证与推广应用，实现诊断准确率高于 90%，寿命预测误差小于 20%，保障了装备的安全可靠运行并显著降低了运维成本。

提名该项目为 2023 年度中国振动工程学会科学技术奖-基础研究二等奖。

项目简介：

本项目属于机械状态监测与故障诊断领域，为保障机械装备安全可靠服役提供基础理论与方法支撑，研究工作在国家 863 计划、天津市自然科学基金重点项目等项目支持下完成。

机械装备故障诊断与剩余寿命预测对保障其安全可靠服役至关重要，是国家重大战略需求。近年来，随着工业物联网、人工智能等技术的迅速发展，机械装备故障诊断与预测逐渐呈现出以振动监测大数据分析为核心的智能化发展趋势，并在实验场景下取得了良好的效果。然而，在工程场景下往往难以获取完备的高质量故障与全寿命退化数据，导致现有方法存在巨大挑战：（1）工程场景下装备型号差异显著、测点安装受限、工况变化不一，如何在缺乏同领域关键故障数据的情况下智能提取泛化故障特征？（2）现有迁移诊断方法通常假设不同领域故障模式相似，然而工程场景下无法提前预知装备潜在故障模式，如何实现不完备数据的智能迁移诊断？（3）机械装备全寿命周期性能退化随机性强、实测数据波动剧烈、退化速率时变，如何在装备性能动态退化的工程场景下实现剩余寿命准确预测？

针对以上三个关键难题，凝练出相应的关键科学问题：机械装备振动数据深度表征适配原理、工程场景未知故障模式的智能迁移诊断规律、装备性能动态退化的剩余寿命预测机制，并开展了系统性的研究工作：

（1）建立了机械装备振动数据深度表征智能适配理论，揭示了跨工况、跨测点、跨装备等领域泛化的伪故障数据生成机制与共性特征提取原理，为智能诊断与预测奠定了数据表征基础，被领域著名学者评价为：“解决了数据稀缺的难题、提供了一个有前景的方法”；

（2）提出了装备未知故障模式的深度领域自适应智能迁移诊断理论，建立了故障数据无监督自适应深度关联机制，实现了工程场景数据不完备下的领域泛化智能迁移诊断，被领域著名学者评价为：“一项开拓性的工作、准确分离目标

领域类别样本”；

(3) 构建了装备全寿命周期性能动态退化的循环一致性理论，阐明了多尺度退化特征集成的剩余寿命预测机理，攻克了退化速率时变下领域泛化的寿命预测难题，被领域著名学者评价为：“提供了一个全新且有趣的观点、取得了显著的效果”。

项目 8 篇代表性论著被来自 52 个国家/地区三千余名学者在 315 种出版物上引用，受到美国、英国、加拿大等国家的十余名院士、ASME/IEEE 等国际权威学会的二十余位 Fellow 正面评价，Web of Science (WOS) 他引 1200 余次，5 篇入选 ESI 热点论文 (前 0.1%)，7 篇入选 ESI 高被引论文 (前 1%)，6 篇论文发表在中科院 1 区 top 期刊。

项目形成了领域泛化的机械装备故障表征适配、智能迁移诊断、多尺度寿命预测理论及方法，开发了面向冶金制造、交通运输等应用场景关键机械装备的智能运维系统与平台，在中车唐山机车、山东冠洲、河钢唐钢等企业得到工程验证与推广应用，保障了装备的安全可靠运行并显著降低了运维成本。

主要完成人 (完成单位)：

李响 (东北大学)、张微 (沈阳航空航天大学)、丁千 (天津大学)

代表性论文专著目录 (不超过 8 篇)

序号	论文专著 名称/刊名/作者	年卷页 码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间 (年 月 日)	通讯作 者 (含 共同)	第一作 者 (含 共同)	国内作者	SCI 引用 次数
1	Cross-domain fault diagnosis of rolling element bearings using deep generative neural networks/IEEE Transactions on Industrial Electronics/李响, 张微, 丁千	2018 年 66 卷 7 期 5525-55 34 页	2018 年 9 月 6 日	李响	李响	李响, 张 微, 丁千	252
2	Multi-layer domain adaptation method for rolling bearing fault diagnosis/Signal Processing/李响, 张微, 丁千, 孙建桥	2019 年 157 卷 180-197 页	2018 年 12 月 7 日	李响	李响	李响, 张 微, 丁千	242
3	Deep learning-based remaining useful life estimation of bearings using multi-scale feature extraction/Reliability engineering	2019 年 182 卷 208-218 页	2018 年 11 月 8 日	李响	李响	李响, 张 微, 丁千	273

	& system safety/李响, 张微, 丁千						
4	Deep learning-based machinery fault diagnostics with domain adaptation across sensors at different places/ IEEE Transactions on Industrial Electronics/李响, 张微, 许南希, 丁千	2019 年 67 卷 8 期 6785-6794 页	2019 年 8 月 22 日	李响	李响	李响, 张微, 许南希, 丁千	113
5	Deep learning-based partial domain adaptation method on intelligent machinery fault diagnostics/IEEE Transactions on Industrial Electronics/李响, 张微	2020 年 68 卷 5 期 4351-4361 页	2020 年 4 月 7 日	张微	李响	李响, 张微	108
6	Universal domain adaptation in fault diagnostics with hybrid weighted deep adversarial learning/IEEE Transactions on Industrial Informatics/张微, 李响, 马辉, 罗忠, 李旭	2021 年 17 卷 12 期 7957-7967 页	2021 年 3 月 8 日	李响	张微	张微, 李响, 马辉, 罗忠, 李旭	100
7	Degradation alignment in remaining useful life prediction using deep cycle-consistent learning/IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems/李响, 张微, 马辉, 罗忠, 李旭	2021 年 33 卷 10 期 5480-5491 页	2021 年 4 月 14 日	李响	张微	李响, 张微, 马辉, 罗忠, 李旭	173
8	A robust intelligent fault diagnosis method for rolling element bearings based on deep distance metric learning/Neurocomputing/李响, 张微, 丁千	2018 年 310 卷 77-95 页	2018 年 5 月 23 日	李响	李响	李响, 张微, 丁千	33
合计							1294