

安徽省科学技术奖提名项目公示内容

(自然科学奖, 2025 年度)

一、项目名称

精密制造过程多源感知与可解释智能监控理论

二、提名者及提名意见

提名者: 中国科学院合肥物质科学研究院

提名意见:

该项目面向航空航天装备对制造精度与一致性控制的重大需求, 围绕多源信号感知、退化建模与可解释监测等核心科学问题开展系统研究, 取得了系统性理论创新。项目揭示了增材与减材制造过程中多源物理信号与质量状态的映射规律, 提出熔池运动高维特征提取、深度信念网络自动特征学习及信号周期先验嵌入等跨工艺统一感知理论; 首次发现制造过程退化状态持续时间的统计依赖规律, 建立了融合隐半马尔可夫模型与高斯过程分类的状态演化及概率预测数学框架, 从时间演化与瞬时状态两个维度实现了剩余寿命的可靠预测; 并率先提出结构内生可解释深度学习监控范式, 成果通过专著《激光增材制造在线监控系统理论与技术》系统化为跨工艺理论体系, 专著获国家重点出版基金资助并出版英文版, 形成了从感知、建模到可信监测的完整理论链条。

5 篇代表性论文他引 600 余次, 获国内外多位院士、CIRP Fellow、及 IEEE Fellow 等高度评价, 相关成果已在我国航空航天重大工程精密装备中获得应用验证, 取得显著社会与经济效益。经研究, 该项目符合安徽省自然科学奖提名条件, 同意提名该项目作为 2025 年安徽省自然科学奖候选项目。

三、项目简介

面向国家航空航天精密制造技术与装备的重大需求, 项目在国家重点研发计划、国家自然科学基金等支持下, 聚焦制造精度与一致性控制的核心挑战, 系统研究了增材与减材制造中多源物理信号感知、退化状态建模与可解释深度学习监测理论, 构建了跨工艺统一智能监控理论体系, 突破了复杂装备与构件高精度制造的质量可靠性瓶颈, 为航空航天核心部件制造提供了源头创新支撑。取得的重要科学发现包括:

(1) 揭示了增材与减材制造过程中声、光、热、力等多源物理信号与质量状态的映射规律，提出熔池运动高维特征提取、深度信念网络自动特征学习、信号周期先验嵌入等感知理论，建立了跨工艺统一多源感知理论框架。

(2) 揭示了制造过程退化状态持续时间的统计依赖性规律，建立了基于隐半马尔可夫模型的退化演化数学框架，实现了剩余寿命的概率预测；同时建立基于高斯过程分类的熔池状态概率识别模型，从时间演化与瞬时状态两个维度完善了状态建模理论，提供了完备的数学工具。

(3) 率先提出了结构内生可解释的深度学习监控范式，将信号周期性先验嵌入网络结构，使可解释性成为模型的内生属性而非事后附加功能，突破了传统可解释 AI 仅适用于低维数据的局限。

上述科学发现通过专著《激光增材制造在线监控系统理论与技术》系统化为统一理论与技术体系。专著获国家出版基金资助，入选“十三五”国家重点出版物，并由 Springer 于 2026 年出版英文版，推动了理论体系的国际传播。项目成果获得国内外同行高度评价，5 篇代表性论文共被引用 600 余次，引文作者分布于 40 余个国家、300 多个研究机构，包括 50 余位国内外院士、IEEE Fellow 和 CIRP Fellow。

项目完成人 3 人入选爱思唯尔全球高被引学者，担任 IEEE Transactions、Nature npj 子刊等期刊主编/副主编/编委 20 余次，在国际会议担任大会主席并作大会/特邀报告 30 余次，研究成果产生广泛学术影响。项目创新成果成功应用于我国首台空间站天和核心舱“无容器材料实验腔体子系统”、大型运载火箭贮箱及航天米级磁悬浮陀螺仪，显著提升了装备精度与一致性，为我国重大战略装备性能跨越提供了核心支撑。

四、代表性论文专著目录

序号	论文（专著）名称/刊名/作者	年卷页码 （xx 年 x 卷 x 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	论文署名单位是否包含国外单位
1	Gaussian process classification of melt pool motion for laser powder bed fusion process monitoring / Mechanical Systems and Signal Processing / Qisheng Wang, Xin Lin, Xianyin Duan, Ruqiang Yan, Jerry Ying Hsi Fuh, Kunpeng Zhu	2023 年 198 卷 11044 0 页	2023. 9. 1	Kunpeng Zhu	Qisheng Wang	王齐胜，林昕，段现银，严如强，傅盈西，朱锬鹏	否

2	Interpretable deep learning approach for tool wear monitoring in high-speed milling / Computers in Industry / Hao Guo, Yu Zhang, Kunpeng Zhu	2022年 138卷 10363-8 页	2022. 6. 1	Kunpeng Zhu	Hao Guo	郭浩, 张宇, 朱锬鹏	否
3	Diagnosis and Prognosis of Degradation Process via Hidden Semi-Markov Model / IEEE/ASME Transactions on Mechatronics / Tongshun Liu, Kunpeng Zhu, Liangcai Zeng	2018年 23卷 1456-1466 页	2018. 4. 1	Kunpeng Zhu	Tongshun Liu	刘同舜, 朱锬鹏, 曾良才	否
4	Defect detection in selective laser melting technology by acoustic signals with deep belief networks / The International Journal of Advanced Manufacturing Technology / Dongsen Ye, Geok Soon Hong; Yingjie Zhang, Kunpeng Zhu, Jerry Ying Hsi Fuh	2018年 96卷 2791-2801 页	2018. 2. 24	Jerry Ying Hsi Fuh	Dongsen Ye	叶冬森, 朱锬鹏	是
5	In situ monitoring of selective laser melting using plume and spatter signatures by deep belief networks / ISA Transactions / Dongsen Ye, Jerry Ying Hsi Fuh, Yingjie Zhang; Geok Soon Hong, Kunpeng Zhu	2018年 81卷 96-104 页	2018. 10. 1	Kunpeng Zhu	Dongsen Ye	叶冬森, 朱锬鹏	是
6	激光增材制造在线监控系统理论与技术/ 国防工业出版社, ISBN 978-7-118-12403-3/朱锬鹏, 傅盈西	2021年	2021. 11	朱锬鹏	朱锬鹏	朱锬鹏	是

五、主要完成人（按完成人顺序排列）

朱锬鹏, 林昕, 严如强, 傅盈西

六、主要完成单位（按完成单位顺序排列）

中国科学院合肥物质科学研究院, 武汉科技大学, 西安交通大学, 苏州工业园区新国大研究院

七、论证专家

姓名	工作单位	职称	专业领域
张世武	中国科学技术大学	教授	精密仪器及机械
赵吉文	合肥工业大学	教授	精密仪器及机械
刘永斌	安徽大学	教授	精密仪器及机械

叶晓东	中国科学院合肥物质科学研究院	研究员	工业电气自动化
李露	中国科学院合肥物质科学研究院	研究员	机械工程