2025年度湖北省科学技术奖公示表（自然科学）

项目名称、提名者及提名意见、项目简介、代表性论文专著目录、主要完成人（完成单位）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 高维工业时空大数据分析理论与方法 |
| 提名单位 | 华中科技大学 |
| 提名意见 | 项目面向传统统计与数据分析方法无法有效处理高维度、强时空耦合工业时空大数据的难题，在国家重点研发计划、国家自然科学基金(重点)专项项目等支持下，经过二十余年的系统性研究，形成了高维工业时空大数据分析的基础理论框架；在框架下探究了高维空间的数据结构，揭示了多类算子运算下的信息在复平面的表达形式与统计性质规律，建立了面向工业场景的高维信号检测方法体系,形成了微弱信号检出与多并发事件辨识的完整方法，并成功应用于多个典型工业场景，实现对复杂事件的时空细粒度识别。在信号处理、能源电力、无线通信等各学科多方向上取得了创新性突破。上述理论成果获得了国际学术界的广泛认可，相关代表作入选权威刊物《IEEE Transactions on Smart Grid》Popular Article Top 5，被自由概率理论奠基人、美国数学学会会士Pastur多篇独作论文引用；核心技术已应用于国家电网、VIVO、华为等龙头公司，并建立了元宇宙中心等；成果服务于数字中国、新基建等国家战略。  提名该项目为2025年度湖北省自然科学奖 一 等奖 |
| 项目简介 | 本项目属于**信息处理**领域。  当前，工业革命与数字革命深度融合叠加发展，工业数智化是实现数字中国、产业升级、新基建等国家战略的重大需求。然而，包括工业传感器网络、电力通信网络、无线通信网络在内的典型工业场景下大数据分析面临数据维度高、采样少、非线性耦合强等挑战，导致传统统计和数据分析方法失效，严重制约了我国工业大数据从“数力”到“知力”进而形成“智力”的高效转化。实现海量高维工业时空大数据的高效分析和挖掘，需要从基础理论上形成突破，建立面向高维时空数据分析的理论新框架和新方法。国际学术界围绕上述挑战展开了研究，但始终缺乏系统的理论体系以完整解决核心难题。  面向工业大数据维度高、多源信号时空非线性耦合等极具挑战课题，项目组在国家重点研发计划、国家自然科学基金（重点）专项项目等支持下，在工业大数据分析中重大科学问题上进行深入探索，通过二十余年的系统研究，攻克了长期困扰学术界的基础性难题，奠定了复杂高维工业时空大数据分析的理论基础，发现了多类算子运算下的信息在复平面的表达形式与统计性质规律，提出了面向工业场景的高维信号检测方法体系，在能源电力、无线通信等领域突破了长久以来传统理论方法的局限。主要成果包括：  （1）**成果一**：**高维工业时空大数据分析理论框架**  考虑实时性强的典型工业场景下数据瑕疵与环境不确定性等复杂工况，提出了高维工业时空大数据分析理论框架，突破了传统统计分析方法无应用于高维度、低采样数据的瓶颈；针对工业传感器网络、电力通信网络、无线通信网络等一系列典型场景，首次系统性地揭示了高维时空耦合数据物理机理与数学建模之间本质联系；为工业场景下的数据驱动建模提供了理论基础。相关成果已出版英文专著3部，代表论文入选《IEEE Transactions on Smart Grid》Popular Article Top 5，并荣获2011年IEEE国际通信大会（ICC）最佳论文奖。  （2）**成果二**：**面向工业场景的高维信号检测方法体系**  在上述理论框架下，针对工业传感器网络中“高维度、低采样率、强不确定性”的数据特征，项目突破传统统计方法在高维数据处理中的适用性瓶颈，从自由算子随机变量视角出发，建立了新型高维假设检验范式，构建了谱分离判据和信号-噪声相变理论。进一步，提出基于自由多项式理论的复平面解析框架，系统揭示高维信号的统计特性与数学结构表达。结合高维空间因子模型与非线性随机矩阵理论，形成微弱信号检出与多并发事件辨识的完整方法，成功应用于多个典型工业场景，实现对复杂事件的时空细粒度识别。成果获电力创新一等奖、上海电力公司科技进步一等奖，并被自由概率理论奠基人、美国数学学会会士Leonid Pastur教授引用。  （3）**成果三：在电力与无线通信领域的颠覆式理论创新**  利用成果二提出的方法体系在谱域重构了电气工程学科基本定理之一叠加定理，打破电力系统长久以来的机理还原论模型的壁垒，首次实现电力系统复合事件分析；以多台故障指示器的录波时空数据为驱动力，从中提取谱统计特征并进一步构建小电流接地故障诊断新型随机矩阵判据，兼顾了敏感性与可靠性的矛盾指标，相较于零序电流这一经典判据取得了颠覆性效果，相关技术成果已部署于上海蔡伦等多个站点；揭示了大规模认知无线电网络中噪声在谱域形成环律（Ring Law）的机理，搭建了包含80个节点的当时全球最大规模认知无线电网络；针对无线通信环境复杂不确定的挑战，搭建了全球首套多跳智能反射面系统，与中国联通、中国移动和中国电信等运营商合作在广东肇庆、江苏无锡等地进行实测，实现了区域99%以上的信号覆盖，平均信号质量提升约50倍。  依托项目成果构建了高维工业时空大数据分析理论体系和决策方法，出版英文专著3部，发表SCI论文超过300篇。 5篇代表作中2篇是ESI高被引论文，2篇国内期刊代表作发表在CSEE电力与能源系统学报（中国科技核心期刊，获得科协登峰行动计划资助，获中国电机工程学会期刊突出贡献奖），5篇代表作谷歌学术引用1500余次，得到全球百余名院士和ACM/IEEE/IET Fellow正面评价，核心技术已应用于国家电网、VIVO、华为等龙头公司，并建立了元宇宙中心等；成果服务于数字中国、新基建等国家战略。  第一完成人担任中国通信学会短距无线通信委员会主任委员、入选中国通信学会外籍会士、IEEE会士、国家高层次人才计划等。 |
| 主要完成人  （完成单位） | 邱才明（华中科技大学）、贺兴（上海交通大学）、凌泽南（华中科技大学）、艾芊（上海交通大学）、黄文焘（上海交通大学） |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 序号 | 论文（专著）名称/刊名/作者 | 年、卷、页码 | 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 | | 1 | “A Big Data Architecture Design for Smart Grids Based on Random Matrix Theory”， IEEE Transactions on Smart Grid, Xing He（贺兴）, Qian Ai（艾芊）, Robert Caiming Qiu（邱才明）, Wentao Huang（黄文焘）, L. Piao, H. Liu  （JCR一区论文，ESI高被引论文）. | 2017, vol. 8, no. 2, pp. 674-686 | 2017-03 | 贺兴 | 贺兴 | 贺兴，艾芊，邱才明，黄文焘，朴龙健，刘海春 | | 2 | “Deep Reinforcement Learning for Power System Applications: An Overview”, CSEE Journal of Power and Energy Systems, Z. Zhang, Dongxia Zhang, Robert C. Qiu（邱才明）  （ESI高被引论文，国内科技期刊论文） | 2020, vol. 6, no. 1, pp. 213-225 | 2020-03 | 张自东 | 邱才明 | 张自东、张东霞、邱才明 | | 3 | “Analysis and optimization of droop controller for microgrid system based on small-signal dynamic model”, IEEE Transactions on Smart Grid, K. Yu, Qian Ai（艾芊）, S. Wang, J. Ni, T. Lv（JCR一区论文） | 2016, vol. 7, no. 2, pp. 695-705 | 2016-03 | 于凯 | 于凯，艾芊 | 于凯，艾芊，汪诗怡，倪剑墨，吕天光 | | 4 | “An accurate and real-time method of self-blast glass insulator location based on faster R-CNN and U-net with aerial images”， CSEE Journal of Power and Energy Systems，Zenan. Ling（凌泽南）, Dongxia Zhang, Robert C. Qiu（邱才明）, Z. Jin, Y. Zhang, Xing He（贺兴）, H. Liu  （国内科技期刊论文） | 2019, vol. 5, no. 4, pp. 474-482 | 2019-12 | 凌泽南 | 凌泽南 | 凌泽南、张东霞、邱才明、金之俭、张宇航、贺兴、刘海春 | | 5 | “A Correlation Analysis Method for Power Systems Based on Random Matrix Theory”， IEEE Transactions on Smart Grid, X. Xu, Xing He（贺兴）, Qian Ai（艾芊）, Robert C. Qiu（邱才明）（JCR一区论文） | 2017, vol. 8, no. 4, pp. 1811-1820 | 2015-12 | 徐心怡 | 徐心怡 | 徐心怡，贺兴，艾芊，邱才明 | | |