

## 基于人工智能的结构力学专题序

赖 姜\* 李 锐† 代胡亮\*\* 朱红钧††

\*(电子科技大学航空航天学院, 成都 611731)

†(大连理工大学力学与航空航天学院, 工业装备结构分析优化与 CAE 软件全国重点实验室, 大连 116024)

\*\*(华中科技大学航空航天学院, 武汉 430074)

††(西南石油大学石油与天然气工程学院, 成都 610500)

基于人工智能的结构力学研究近年来取得显著进展, 其核心突破源于数据科学、计算力学与智能算法的深度融合. 在大数据技术与高性能计算的驱动下, 深度学习、强化学习等人工智能方法不仅重构了结构力学分析的技术路径, 更在跨尺度建模、实时响应预测等关键领域实现范式革新.

传统结构力学期长期依赖解析推导与数值模拟, 虽然在经典力学问题中具有理论完备性, 但在处理复合材料非线性本构行为、多物理场耦合效应 (如热-力-电-磁耦合)、跨尺度损伤演化 (从微裂纹萌生到宏观结构失效) 等复杂场景时, 普遍面临计算维度灾难、多参数优化效率低下、实时动态响应滞后等瓶颈问题. 人工智能技术为突破这些困境提供了颠覆性解决方案: 基于深度神经网络的代理模型通过数据驱动方式建立高维参数空间到结构响应的端到端映射, 在保持预测精度的同时将计算效率提升多个数量级; 图神经网络 (GNN) 可有效表征复杂结构的拓扑连接特性, 成功应用于空间网格结构的智能损伤定位; 物理信息神经网络 (PINN) 将控制方程作为正则化项嵌入损失函数, 在缺少实验数据的工况下仍能保持物理一致性. 这些技术突破正在重塑结构力学的研究范式, 推动该领域从“模型驱动”向“数据-模型双驱动”的智能化方向演进.

为了总结和传播基于人工智能的结构力学新方法和新应用, 《力学学报》组织了“基于人工智能的结构力学”专题, 该专题包含 6 篇研究论文, 旨在反映我国科研人员在新兴人工智能方法与传统结构力学相结合的最新研究进展.

北京大学钱志浩、丁陈森、许灵辰等撰写了一种高效高精度小样本的流固耦合代理模型的研究论文. 他们针对多场景海洋流固耦合问题, 使用本征正交分解 (POD) 与高斯过程 (GP) 为基础的降阶仿真模型, 结合无网格粒子法生成的仿真数据, 实现了多场景下的高效、高精度代理仿真. 该模型一方面有效缓解了传统数据驱动方法对海量训练数据的依赖, 为复杂流固耦合问题的小样本建模提供了新范式, 另一方面相较于传统数值模拟方法, 计算效率提升超 10 倍, 为快速分析多参数耦合效应及实时决策支持奠定了技术基础.

哈尔滨工程大学张宁波、倪宝玉、薛彦卓等撰写了基于 GNN 和不可压缩光谱粒子流体动力学 (ISPH) 耦合方法的波浪与结构物相互作用数值模拟的研究论文. 他们采用一种 GNN 与 ISPH 相结合的耦合方法对波浪与结构物相互作用展开数值模拟, 揭示了基于相对简单算例生成的数据训练的 GNN 模型可以有效地应用于相对更复杂的波浪与结构物相互作用问题, 为海洋工程中波浪-结构物相互作用仿真提供一种更具可扩展性和计算高效性的仿真工具.

西南交通大学董锦昊、唐怀平和太原理工大学董锦洋撰写了基于降阶深度学习的格尼襟翼压力分布预测的研究论文. 他们针对加装格尼襟翼翼型气动特性数值仿真计算效率较低这一问题, 通过本征正交分解方

2025-04-12 收稿, 2025-04-15 录用, 2025-04-16 网络版发表.

引用格式: 赖姜, 李锐, 代胡亮, 朱红钧. 基于人工智能的结构力学专题序. 力学学报, 2025, 57(4): 801-802

Lai Jiang, Li Rui, Dai Huliang, Zhu Hongjun. Preface of theme articles on AI-based structural mechanics. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2025, 57(4): 801-802

法从压力分布数据中提取前  $i$  阶主导模态, 构建表征压力分布核心特征的低维空间, 再基于各阶模态对应的特征向量重构数据集, 通过神经网络模型学习其非线性映射规律, 最终集成多尺度预测结果实现压力分布的高精度重构. 该研究不仅提高了加装格尼襟翼翼型气动特性预测的精度与效率, 还为解决类似复杂气动问题的数值仿真提供了新的思路.

西南石油大学钟家文、周水根、宋金泽等撰写了基于 XGBoost-SHAP 的串列布置三圆柱水动力学特性参数预测的研究论文. 他们采用开源计算流体力学软件 OpenFOAM 模拟建立了在不同工况下各圆柱的升阻力和涡脱频率数据集, 并基于 XGBoost 算法和 SHAP 分析对低雷诺数下串列三圆柱绕流的水动力学特性参数进行了机器学习研究, 发现基于 XGBoost 算法建立的机器学习模型经过超参数优化后具有良好的预测性能.

石家庄铁道大学王美琪、徐嘉跃、刘鹏飞等撰写了基于深度强化学习的磁浮列车悬浮架协同控制的研究论文. 他们提出了一种电磁悬浮 (EMS) 型磁浮列车悬浮架多电磁铁系统深度强化学习协同控制方法. 该方法不仅能够有效控制悬浮架中的多电磁铁模块稳定悬浮在平衡点位置附近, 而且显著减小电磁铁模块之间的耦合作用, 具有更加优秀的悬浮控制性能和协同控制性能.

西安建筑科技大学殷运童、马剑、白镇滔等撰写了基于改进 PSO-BP 神经网络的土遗址锚固力智能化预测的研究论文. 他们通过引入自适应惯性权重和非对称学习因子改进传统粒子群算法, 进而优化 BP 神经网络的初始权重和阈值, 构建了一种新型粒子群优化 BP 神经网络锚固力智能化预测模型. 该模型具有更好的鲁棒性、效率和精度, 可为土遗址加固保护的智能化发展提供技术支撑和理论参考.

最后, 感谢《力学学报》编辑部对基于人工智能的结构力学专题的大力支持! 也特别感谢所有论文作者以及审稿专家对本专题出版的重要贡献和大力支持!

doi: [10.6052/0459-1879-25-157](https://doi.org/10.6052/0459-1879-25-157)