DOI: 10.11883/bzycj-2026-0110

“人工智能赋能冲击动力学”专刊简介*

人工智能(AI)正以前所未有的广度和深度重塑冲击动力学研究范式,为爆炸、侵彻、高速撞击等极端载荷下复杂动力学问题的解决开辟全新技术路径。在传统冲击动力学研究中,“理论建模-实验验证-数值仿真”三位一体方法虽在物理机理认知上成果丰硕,但长期受困于计算效率瓶颈、高成本实验限制及复杂非线性问题求解难题。AI 的引入,推动研究从“物理方程驱动”向“数据与物理融合驱动”范式跃迁,通过机器学习、深度学习等技术,实现复杂系统高效代理建模、高维规律挖掘与跨尺度整合,在保障物理一致性的同时,大幅提升研究效率与预测能力。

在复杂动力学行为智能模拟与精准预测领域,AI 优势显著。传统方法依赖计算流体动力学(CFD)或显式动力有限元方程求解,难以实现快速预报与多场景推演。如今,图神经网络(GNN)和长短期记忆网络(LSTM)等时序模型,可从历史数据或高保真仿真中学习冲击波传播、破片飞散、流固耦合等时空演化规律,为灾害预警与防护设计提供实时响应能力。

材料动态本构关系智能建模方面,AI 推动本构理论从“经验公式拟合”向“数据驱动发现”演进。传统 Johnson - Cook 等模型参数标定依赖假设与试验,难以精准描述高熵合金等新型材料在高应变率下的复杂响应。人工神经网络(ANN)与物理信息神经网络(PINN)等机器学习方法,能从动态实验数据中学习率相关、温相关及损伤演化的本构关系,甚至构建无需预设数学形式的隐式本构模型,为新材料高动态载荷下行为预测与优化设计提供更精准高效的工具。

实验数据高效处理与智能增强环节,AI 成为关键赋能手段。冲击实验数据常存在稀疏、噪声大、全域多场信息难以同步捕获等问题,传统信号处理与图像分析方法依赖专家经验,效率低下。卷积神经网络(CNN)与生成对抗网络(GAN)等深度学习技术,可实现冲击波信号、高速摄影图像、数字图像相关(DIC)数据的自动去噪、特征提取与信息增强,为构建高质量数据库提供新途径。

多尺度与多物理场耦合建模领域,AI 提供了突破的统一框架。冲击损伤涉及从微观位错运动、孔洞成核到宏观结构失效的跨尺度过程,传统多尺度方法计算冗长、信息传递复杂。通过将控制方程、本构关系与损伤准则嵌入神经网络的损失函数,PINN 等智能工具可构建宏微观行为耦合的建模框架。这种智能求解方法,能够在保证物理规律一致性的前提下,显著提升多物理场耦合问题的求解效率。

结构优化与安全评估方面,AI 驱动抗冲击设计从“经验试错”迈向“智能生成”。传统优化受计算成本限制,多局限于参数扫描,只在现有经验框架内进行参数调整,难以实现质的突破。AI 驱动的代理模型与多目标优化算法,可在高维设计空间快速寻优,实现防护结构轻量化、能量吸收与承载能力协同提升。同时,知识图谱与风险评估模型结合,整合爆炸毁伤案例、材料性能、结构响应等多源信息,为极端场景下快速安全评估与智能决策提供强大支撑。

展望未来,随着物理信息 AI、数字孪生与量子计算等技术发展,AI 将进一步推动冲击动力学实现从现象解释到精准预测、再到智能设计的跨越,驱动冲击动力学研究不断催生新理论、新方法、新技术,为国防安全与重大工程防护提供核心驱动力。

该专刊主要征稿范围包括:复杂动力学行为的智能模拟与精准预测,材料动态本构关系的智能建模与优化,实验数据的高效处理与智能增强,多尺度与多物理场耦合建模的智能化突破,结构优化与抗冲击设计,极端条件下的安全与风险评估。经邀稿/自由来稿和按照《爆炸与冲击》期刊的严格审稿流程,录用了 16 篇研究论文。在此对作者与审稿专家的辛勤付出表示衷心的感谢,对《爆炸与冲击》编辑部和曾月蓉老师的大力支持表示诚挚的敬意!

中国科学技术大学　郑志军 教授
西北工业大学　郭伟国 教授