
OES | 多物理场智能优化架构解锁高功率光纤激光设计新范式

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42648.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

OES | 多物理场智能优化架构解锁高功率光纤激光设计新范式。



Opto-Electronic Science论文推荐国防科技大学陈金宝研究员团队提出了一种基于多物理场智能优化架构的高功率光纤激光设计新范式

。该范式通过将多物理场耦合模型与物理驱动、代理模型辅助的智能优化算法相结合，实现了复杂参数空间下高功率光纤激光多参数的全局寻优，推动了该领域从传统单一参数优化到系统智能设计的跨越式发展。

文章 Liu W, Cheng Z, Ma PF et al. Multiphysics optimization framework for high-power fiber amplifiers. Opto-Electron Sci 5, 260029 (2026).

作者：刘伟，程赞，马鹏飞*，陈益沙，杨欢，潘志勇，王泽锋*，陈金宝*

*通信作者

研究背景

光纤激光器具有全电驱动、转换效率高、光束质量好、可柔性传输等突出优势，是先进制造、高能激光系统构建等领域的优选光源之一。经过二十多年的发展，高光束质量光纤激光器在功率提升、国产化率等方面取得了显著发展，但同时仍面临两大基础性挑战：一是受激布里渊散射（SBS）、受激拉曼散射（SRS）等非线性效应限制功率提升，模式不稳定（TMI）效应诱导光束质量退化，且随着功率提升，这些因素呈现出耦合制约的态势；二是传统非线性和热效应双重制约下，对增益光纤、泵浦源、传输组件等核心器件的精细化设计提出了更为强烈的需求。然而，传统高功率光纤激光器的优化设计框架以单一参数、单一效应、线性迭代为特征，无法实现复杂参数空间下多物理效应的全局优化。

本文亮点

科学机器学习可以将数据驱动的高效性与物理机制的内在约束有机结合，为构建高功率光纤激光多参数智能优化架构提供了可能的技术路径，并将推动设计范式从局部优化走向全局协同设计的转变。然而，如何构建协同设计架构、如何建立高保真耦合物理模型以及如何制定物理可解释的优化策略，是当前亟需解决的三大难题。

(1) 协同设计架构：传统启发式线性迭代→可预测性全局优化

传统的启发式线性迭代方法通常先基于经验模型或参数扫描模拟进行正向评估，再进入测试验证阶段。由于系统设计和优化高度依赖仿真模拟与实体系统之间的反复迭代，这种方法难以捕捉多维参数与系统性能之间的复杂映射关系，致使核心器件迭代周期长、系统优化资源消耗大，且容易陷入局部最优。论文提出了一种多物理场智能优化架构，其核心在于将繁重的迭代设计过程完全转移到计算域中，将高功率光纤激光系统的全局优化设计转化为一个约束优化问题。在完成模型训练后，即可实现高精度的物理构建与自主推演，并确定全局最优解，从而大幅提升设计的准确性与效率。

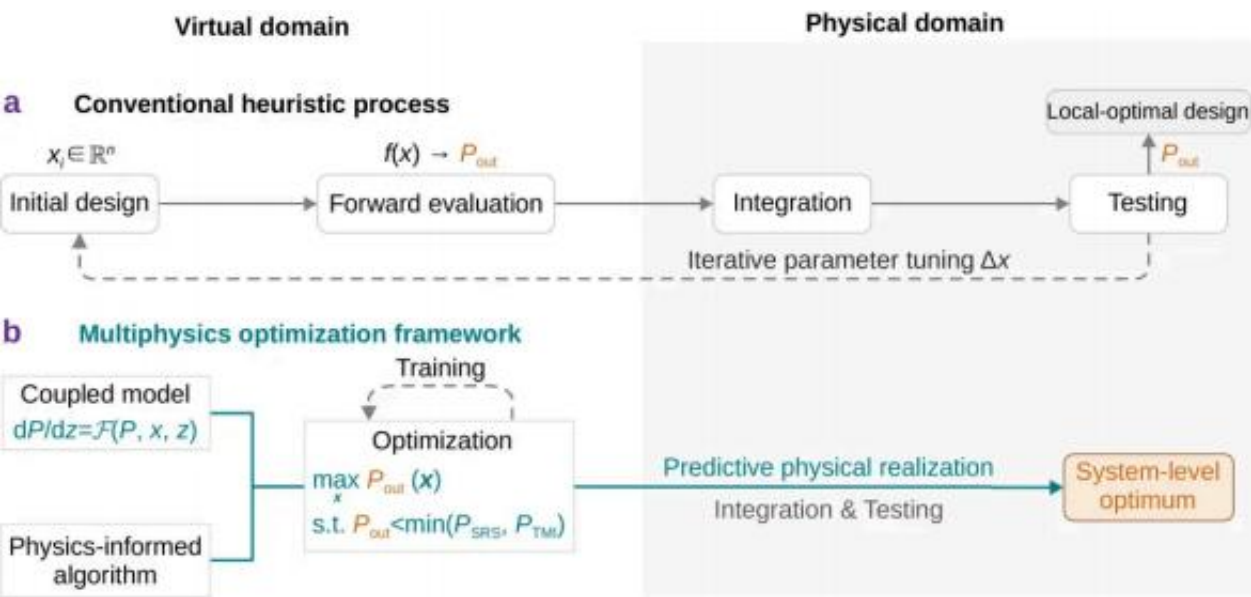


图1传统启发式线性迭代与多物理智能优化框架对比

(2) 高保真耦合物理模型：静态评估→动态演化

大模场高性能增益光纤是高功率激光产生的核心介质。传统物理模型通常将增益光纤简化为理想的阶跃折射率分布，通过解析方法近似估算模场参数进而分析导致功率提升受限的受激拉曼散射、模式不稳定等物理效应，难以反映实际制备工艺引入的偏差、热效应诱导的波导特性改变以及多效应的动态耦合过程。论文在有限元方法的基础上引入等效折射率分布概念，有机融合制备偏差、热力状态及热光效应下的动态演化，实现了模场参数数据集的精准构建和多物理效应的高保真仿真。

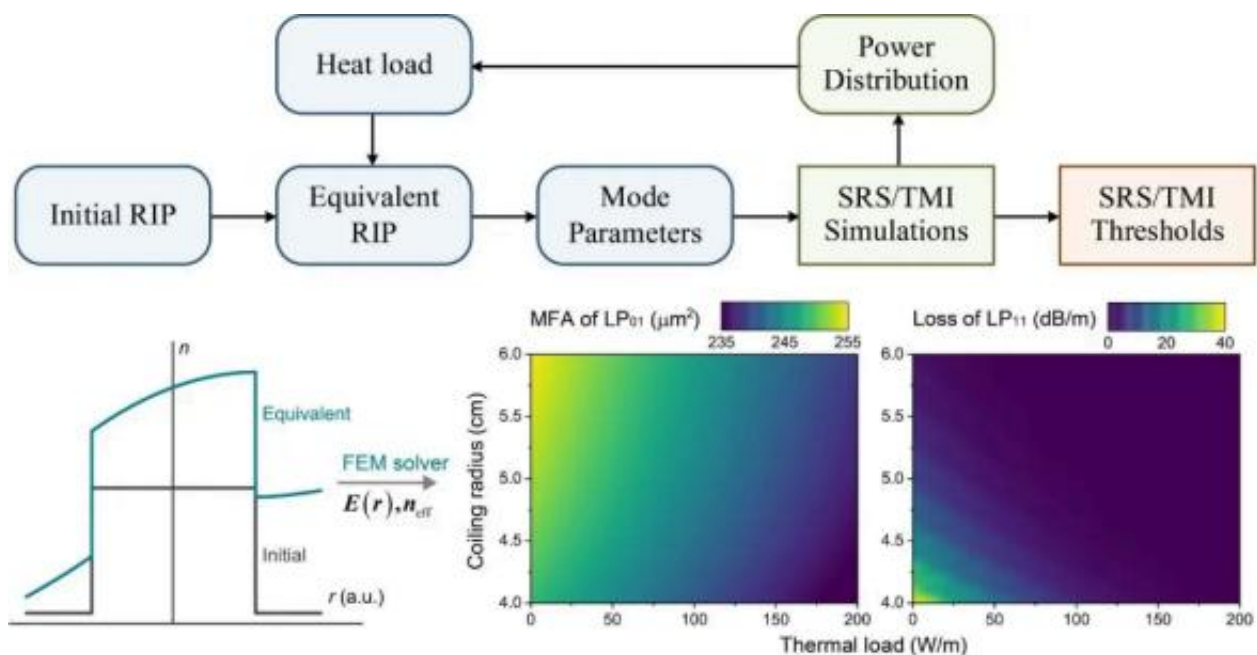


图2 基于动态增益光纤参数的SRS与TMI效应仿真流程

(3) 物理可解释的优化策略：物理规律+约束条件+优化目标

为了应对高功率光纤激光系统设计中有效数据稀缺、实验/仿真样本获取成本高的瓶颈，摆脱纯数据驱动方法对大规模高保真样本的依赖，论文提出了物理规律+约束条件+优化目标的优化策略。该策略将隐式优化任务重构为可微学习过程，通过构建集成物理残差、约束惩罚与目标函数的复合损失函数，确保训练过程兼顾物理合理性、约束满足性与性能最优性。

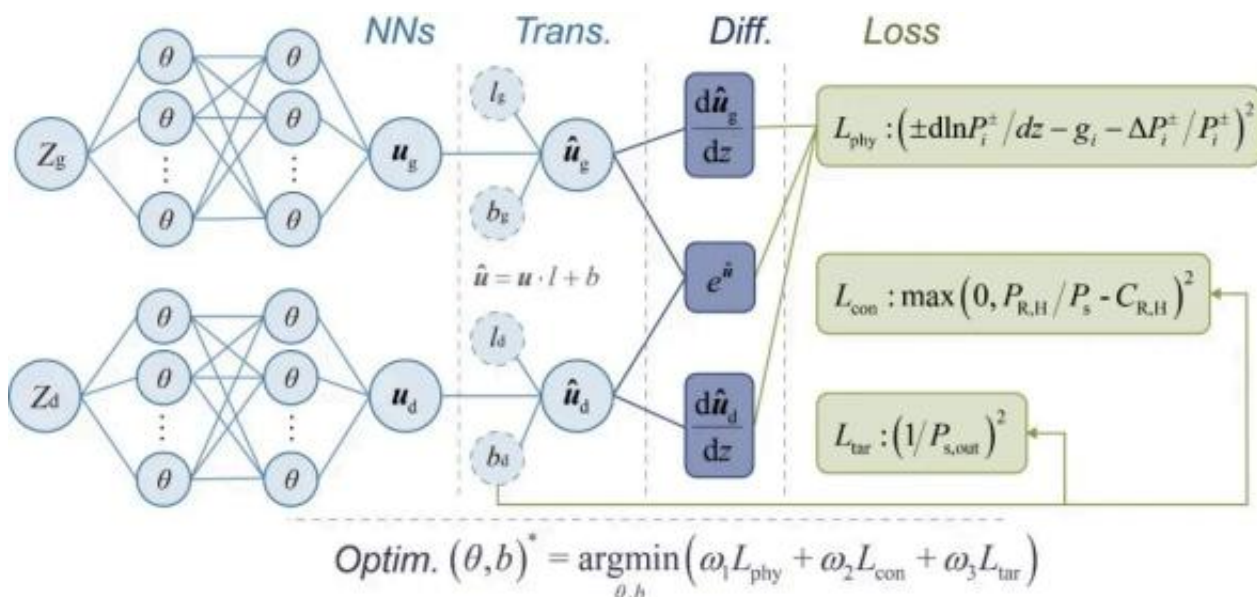


图3 物理驱动的优化算法结构

该研究提出了一种基于多物理场智能优化架构的高功率光纤激光设计新范式。该范式采用模型-算法融合架构，不仅能在设计阶段准确预测系统性能，而且可实现复杂参数空间下高功率光纤激光多参数的全局寻优。以高功率窄线宽光纤激光为载体，研究刷新了国际公开报道的最高输出功率纪录，验证了多物理场智能优化架构在实际系统中的实用价值，有望推动该领域传统设计向复杂参数空间智能化方向发展。

该工作以 Multiphysics Optimization Framework for High-Power Fiber Amplifiers 为题发表在 Opto-Electronic Science（光电科学）

2026年第9期。论文第一作者是国防科技大学前沿交叉学科学院刘伟副研究员，通信作者是马鹏飞副研究员、王泽锋教授和陈金宝研究员。



长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发