

# 融合多项计算机技术的木材力学实验探索

刘智博, 熊绍杰, 胡潇毅

浙江农林大学光机电工程学院, 浙江 杭州 311300

DOI: 10.61369/TACS.2025070035

**摘要** 本文针对传统木材力学实验方法的不足, 提出了一种融合多项计算机技术的实验方案。该方案整合了有限元分析 (FEA)、人工智能 (AI)、计算机辅助设计 / 工程 (CAD/CAE), 数字图像相关 (DIC), 虚拟样本生成 (VSG) 以及用户图像界面 (GUI) 等技术, 构建了一个完整技术闭环。通过一个具体的木梁检测案例, 验证了该方法的有效性。本研究为木材力学实验的数字化、智能化转型提供了新的范式。

**关键词** 木材力学; 有限元分析; 数字图像相关; 虚拟样本; 技术融合

## Exploration of Wood Mechanics Experiments Integrating Multiple Computer Technologies

Liu Zhibo, Xiong Shaojie, Hu Xiaoyi

College of Optical, Mechanical and Electrical Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou, Zhejiang 311300

**Abstract** : In response to the limitations of traditional wood mechanics experimental methods, this paper proposes an experimental scheme that integrates multiple computer technologies. This scheme combines finite element analysis (FEA), artificial intelligence (AI), computer-aided design/engineering (CAD/CAE), digital image correlation (DIC), virtual sample generation (VSG), and graphical user interface (GUI) technologies to establish a complete technical cycle. The effectiveness of this approach is validated through a specific case study on wood beam inspection. This research provides a new paradigm for the digital and intelligent transformation of wood mechanics experiments.

**Keywords** : wood mechanics; finite element analysis; digital image correlation; virtual sample; technology integration

## 引言

木材作为一种历史悠久的可再生材料, 以其为原料的建筑具有低碳排放量的优点<sup>[1-2]</sup>。力学性能<sup>[3]</sup>的准确评估是确保木结构安全耐久的基石。传统的评估方法主要依赖大型力学试验机, 并通过传感器测量特定点的应变<sup>[4]</sup>, 对实验人员的经验依赖性强, 并且对于裂纹等损伤行为<sup>[5]</sup>的观测不够有效。此外, 还存在实验周期长、成本高, 难以重复等痛点。

近年来, 计算机技术的发展为解决上述瓶颈提供了强大工具。FEA 能够对结构变形破坏进行模拟, 提前预测潜在破坏。DIC 技术已成功用于结构变形的测量<sup>[6]</sup>。深度学习等 AI 模型在图像识别和目标检测方面也展现出卓越性能, 为结构损伤的自动识别开辟了新途径<sup>[7]</sup>。此外, CAD/CAE 软件极大提升了实验装置的设计效率与可靠性<sup>[8]</sup>。

然而, 当前的实验方法多侧重于单一技术, 例如仅使用 DIC 测量变形<sup>[9]</sup>, 或仅使用 FEA 预测裂纹<sup>[10]</sup>, 各项技术未形成合力。本研究旨在探索一种融合多项计算机技术的全新实验方法, 以期提升木材力学实验的效率与精度。

## 一、实验技术体系的构建

### (一) 总体技术路线

本方法主要围绕两条主线展开:

主线一 (设计与优化) : 利用 AI 模型对历史实验数据或先验知识进行学习<sup>[11]</sup>, 对实验参数进行初步优化; 利用 CAD 完成加载装置的整体设计; 利用 CAE 软件对加载装置的运动部件进行优化。最后, 建立木构件的有限元 (FE) 模型, 预测其变形情况以及

可能的破坏。

主线二 (执行与分析) : 在按照优化方案进行实验的同时, 同步启动两大监测系统: DIC 系统负责获取全场的位移和应变数据, YOLOv8 监测系统则用于定位和分类裂纹损伤。两条主线的数据在分析阶段汇合, 进行对比与验证。

数据纽带 (VSG) : 为克服 YOLOv8 模型训练样本量不足的瓶颈, 利用 2D/3D 图像处理软件, 程序化地生成大量具有不同纹理、节疤和裂纹特征的木梁图像, 丰富训练数据集, 提升模型的

泛化能力和识别精度。

## (二) 关键技术与融合点

仿真与优化的融合：通过 CAE 仿真对木梁加载装置进行优化设计。对于木梁试件本身，则通过赋予 FE 模型木材各向异性<sup>[12]</sup>的材料属性，使仿真结果直观展示应力集中区域，并为后续 DIC 检测和 YOLOv8 裂纹识别提供先验知识。

机器视觉与全场测量的融合：DIC 与 YOLOv8 虽然在技术原理上不同，但能形成完美的功能互补。DIC 提供连续的、定量的全场应变数据，清晰描绘变形过程；YOLOv8 则快速、准确地定位和识别图像中的裂纹，提供其出现的时间和位置信息。二者融合，既有助于理解裂纹的产生过程<sup>[13]</sup>，又能知晓裂纹的出现，从而全面理解木材的损伤破坏机理<sup>[14]</sup>。

## 二、建筑模型木梁力学性能检测裂纹识别应用案例

该案例的计算机技术流程图如图 1 所示：

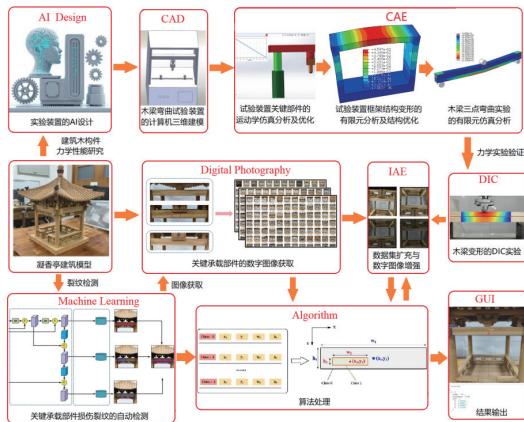


图 1 建筑模型木梁力学性能检测裂纹识别应用案例流程图

在本案例中，为保证实验的方便性特制了专用的实验装置，该装置具有体积小，重量轻和操作方便等优点。实验装置可自动读取木梁载荷数据与变形数据。在设计装置时，通过 FEA 预估了不同载荷下装置自身结构的变形值，并在测量数据中抵消从而提高精度；通过 CAE 软件预先模拟装置的运行，避免发生运动干涉现象。

为获取木梁的力学特性数据，建立了木梁的三点弯曲 FE 仿真模型，并通过仿真结果提示重点关注区域。仿真完成后，通过 DIC 实验验证木梁变形。实验结果表明：DIC 测量结果与 FEA 预测结果吻合，验证了 FEA 预测结果的准确性。

在实验过程中，同步触发了以下数据库及系统：

(1) 包含不同位置、长度裂纹木梁弯曲变形数据库：该数据库由前期 FEA 而获得。

(2) 基于智能手机的 DIC 系统：该系统能将手机拍摄的木构件照片传送到台式计算机进行 DIC 分析。

(3) YOLOv8 监测系统：该系统对手机传来的木构件照片进行学习和分析。

单个木梁验证实验完成后，进一步将带有预制裂纹的木梁安装到凝香亭模型上，通过 AI 算法进行裂纹识别：首先通过拆换建筑模型中的木梁创建不同类型的裂纹损伤，从而生成三类木梁图像；

随后使用智能拍照手机对不同角度、不同拍摄距离下的木梁图像进行拍摄；最终，采集了 500 张分辨率为  $3072 \times 3072$  像素的图像。

在 YOLOv8 模型训练过程中，为解决真实图像数量不足的问题，利用算法生成了 1000 张虚拟的图像扩充了训练集，真实图像则作为测试集。评估结果表明，模型在测试集上的平均精度显著高于仅使用真实数据训练的模型，验证了虚拟数据增强方法的有效性。

## 三、结论

本文围绕木材力学实验的新需求，探索并实践了一种融合多项计算机技术的实验方法。通过将 CAD/CAE、FEA、AI、DIC、VSG、GUI 等计算机技术有机结合，构建了一个从虚拟设计优化到实验智能监测的技术闭环。在应用案例中，将多项计算机技术整合为一个有机的木材力学实验框架，使实验具有前瞻性。通过仿真能够在物理实验之前就发现潜在问题，降低实验成本。该实验方法的挑战在于不同系统（如 DIC、摄像机、试验机）之间的数据同步。此外，虚拟样本的逼真度直接影响实验结果：如何生成与真实木材纹理、光照条件无差异的虚拟图像，仍需进一步研究。

这种“虚实结合、数据驱动”的实验新范式，能够显著提升木材力学实验的效率，为传统实验方法的数字化转型提供可参考的技术路线。

## 参考文献

- [1] 李坚, 甘文涛, 陈志俊等. 向新出发, 木材科学前沿发展 [J]. 森林工程, 2025, 41:1-39.
- [2] 张灵蕤, 刘辉, 邓嵒等. “双碳”目标下我国农林业碳排放效率的时空演变及影响因素分析 [J]. 林业经济, 2024, 8:59-81.
- [3] 宋楚翘, 付伟莲, 刘新有等. 木材榫卯节点界面力学研究综述 [J]. 世界林业研究, 2024, 37(6):66-71.
- [4] 张知博, 王勇杰, 杨庆浩. 电阻应变传感器应用进展 [J]. 化工新型材料, 2025, 53(2):34-39.
- [5] A.Rinta-Paavola, A.Ferrantelli, S.Hostikka. Experimental observation of crack formation on surface of charring timber [J]. Fire Safety Journal, 2024, 148:104231.
- [6] Niu G, Zhu R, Li Y. X-Ray Digital Image Correlation: A reliable method for deformation measurement at 1000° C. Experimental Mechanics, 2024, 64:1263 - 1276.
- [7] 赵永强, 饶元, 董世鹏等. 深度学习目标检测方法综述 [J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(04):629-654.
- [8] 陈楠. 人工智能技术在计算机辅助设计中的应用研究 [J]. 鞋类工艺与设计, 2023, 3(23):100-102.
- [9] Huiheng Lian, Xinjian Sun, Zhenpeng Yu. Study on the dynamic fracture properties and size effect of concrete based on DIC technology [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2022, 274:108789.
- [10] Shaikh A R, Mahmud A, Mahbube S. Comparison of continuum damage models for nonlinear finite element analysis of timber under tension in parallel and perpendicular to grain directions [J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2022, 80:771 - 790.
- [11] 杨洋. 数字化技术下的绿色建筑创新与实践分析 [J]. 新城建科技, 2024, 33(07):7-9.
- [12] 张慎, 陈州, 李霆等. 基于 ABAQUS 的木材本构模型及试验验证 [J]. 工程力学, 2025, 42(3):77-89.
- [13] M. Romanowicz, M. Grygorczuk. The effect of crack orientation on the mode I fracture resistance of pinewood [J]. Internal Journal of Fracture, 2024, 248: 27-48.
- [14] R.Zhang, A.C.Taylor, M.N.Charalambides. A numerical model for predicting the time for crack initiation in wood panel paintings under low-cycle environmentally induced fatigue [J]. Journal of Cultural Heritage, 2023, 61: 23 - 31.
- [15] 雷翔鹏, 刘亚峰. 基于 ADAMS 的欠驱动三指机械手虚拟设计及参数优化 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(11):251-255, 269.