

AI 赋能的 BIM 技术在苏州西山发电厂修复中的应用研究

陈思含，崔宁，刘佳妮，刘靖中，韦芳*

苏州工学院商学院 江苏常熟

【摘要】本文以苏州西山发电厂修复为研究对象，结合工业遗产保护的实际需求，分析传统修复方法在结构安全、细节复原与构件重建方面的不足。为此，本文构建了 AI 与 BIM 协同的解决路径：利用 AI 开展结构力学模拟，确保修复设计的安全性；通过智能识别与建模技术实现砖瓦花纹复原；在数字化模型中借助 AI 完成缺失构件的补全。根据研究，该路径不仅提升修复精度与效率，还有效延续了建筑的历史风貌，为同类工业遗产的保护与活化提供了可借鉴的实践模式。

【关键词】AI+BIM 技术；工业遗产；建筑修复

【基金项目】2025 年度苏州工学院大学生创新创业训练计划项目“工业遗存智能再生：AI-3D 打印修复技术的开发与应用研究”（编号：X202510333284）

【收稿日期】2025 年 4 月 22 日 **【出刊日期】**2025 年 5 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000192

Application of AI-empowered BIM technology in the restoration of Suzhou Xishan power plant

Sihan Chen, Ning Cui, Jiani Liu, Jingzhong Liu, Fang Wei*

School of Business, Suzhou Institute of Technology, Changshu, Jiangsu

【Abstract】This study takes the restoration of Suzhou Xishan Power Plant as its research subject, integrating practical needs of industrial heritage protection. It analyzes the shortcomings of traditional restoration methods concerning structural safety, detail restoration, and component reconstruction. To address this, the paper constructs a solution pathway that synergizes AI and BIM: AI is utilized for structural mechanics simulation to ensure the safety of restoration design; intelligent recognition and modeling techniques are employed for the restoration of brick and tile patterns; and AI assists in the completion of missing components within the digital model. The findings indicate that this pathway not only enhances restoration accuracy and efficiency but also effectively preserves the historical character of the building, offering a replicable practical model for the protection and revitalization of similar industrial heritage.

【Keywords】AI+BIM technology; Industrial heritage; Building restoration

1 研究背景

1.1 苏州西山发电厂的历史价值与现状危机

苏州西山发电厂由苏州电气公司自主筹建并于 1959 年完成主体建设，但因发电能力仅 1500 千瓦无法支撑全岛用电，投产后即被废弃。西山发电厂从工业火种演变为现代智慧能源标杆，既是中国电力工业的活化石也是新型电力系统转型的先锋样板。

历经六十多年的风雨侵蚀，西山发电厂建筑结构因长期无人维护出现墙体开裂、屋顶破损等问题，内部设施也因自然损耗和人为破坏严重受损。同时由于其

作者简介：陈思含（2005-）女，汉族，本科；

*通讯作者：韦芳（1979-）女，汉族，江苏常熟人，苏州工学院商学院副教授、全国一级注册建造师、造价工程师、监理工程师，主要从事智能建造、工程造价研究。

未纳入文保名录导致工业废墟的摄影热度掩盖了其历史内涵，缺乏有效的保护和管理致使周边环境杂乱进一步加速了其衰败进程。

1.2 传统修复技术的局限性

苏州西山发电厂的拱形穹顶与大跨度无柱结构依靠传统人工测量极易造成修复方案偏差甚至二次破坏。此外依赖人工巡查的传统维护手段无法对结构进行实时动态监测，难以及时预警潜在风险。其次常见的混凝土覆盖加固方式破坏原有建筑肌理、削弱艺术美学价值。再者大量历史构件缺失，若依赖人工比照与经验拼

补, 信息碎片化程度高, 难以精准复原。

1.3 工业遗产修复与保护的时代意义

工业遗产是凝聚中华民族文化认同的符号载体, 对铸牢民族共同体意识具有重要意义^[1]。西山发电厂见证了中国近代民族工业的崛起, 承载着民族的集体记忆和精神价值。从政策层面来看苏州作为国家历史文化名城, 出台《苏州市历史文化名城保护条例》强调对“工业遗产等近现代建筑遗产”的系统性保护, 要求在城市更新中避免大拆大建, 注重工业遗产的活化利用。20世纪70年代, 德国学者 Hermann Glaser 首次将工业遗产界定为工业文化的组成部分及文化资源, 工业遗产是“过去的未来”, 其修复不仅是怀旧, 更是为城市寻找可持续发展的新模式^[2]。

2 苏州西山发电厂修复实践中的难点

2.1 工业建筑砖混—钢结构体系劣化

在苏州西山发电厂的修复实践中, 主厂房与输煤廊道所构成的砖混—钢结构复合体系在长期自然环境侵蚀与工业运行载荷的协同作用下, 已出现严重的耐久性退化。具体而言, 砖混结构系统的劣化呈现“化学+力学”复合驱动的渐进式破坏, 不仅削弱了墙体的整体承载力, 还因其隐蔽性与复杂性, 为后续的病害检测和模型重构增添了难度。

2.2 保证纹路复现过程中的原真性

在苏州西山发电厂的修复实践中, 烟囱及外立面原有装饰纹路风化侵蚀, 其历史风貌特征趋于模糊。传统测绘手段和 BIM 建模所生成的几何与纹理数据集, 其空间辐射分辨率及细节深度均无法完整复原, 尤其在烟囱竖向曲面上, 因现场环境而导致扫描视角受限及高反光砖釉干扰, 点云空洞与色彩漂移将放大原始纹饰的失真。

2.3 非标历史构件残缺信息补全

在苏州西山发电厂的修复过程中, 非标历史构件因拆卸盗卖及自然老化而导致内部原始信息缺失, 其科学补全与高精度复原面临严峻挑战。门窗扇、楼梯扶手等金属构件往往具备独特的铸造肌理、非标结构接口及装饰细部, 由于原始施工图纸匮乏, 现场可参照的完整实物样本稀缺, 致使传统 BIM 技术复原模型的可信度面临根本性质疑。

3 AI+BIM 技术的提出

3.1 AI 技术

人工智能(AI)是致力于让计算机模拟人类智能的技术领域。传统 AI 涵盖符号主义、连接主义和行为主义。在建筑领域, 传统 AI 通过图像分析识别建筑结构、

监测施工进度, 利用机器学习算法预测工期和成本, 辅助工程决策。

3.2 BIM 技术

建筑信息模型(BIM)凭借智能模型与云平台作为基础, 能够整合多学科的结构化数据, 从规划设计一直到施工运维环节, 生成建筑的数字化表达。在火力发电工程等各类建筑项目的不同阶段, BIM 都有着广泛应用^[3,4]。传统 BIM 通过构建三维模型, 将建筑的几何信息、物理特性、运行数据及相关文档加以集成, 从而实现对建筑全生命周期信息的管理^[5]。三维可视化、协同设计、数据集成等 BIM 技术的特性, 大幅减少设计变更和施工风险的出现。

3.3 AI+BIM 技术

AI+BIM 技术是将人工智能算法嵌入建筑信息模型的全流程: AI 为 BIM 提供智能分析和智能重构能力, BIM 则为 AI 提供模型数字载体和标准化数据支撑。AI+BIM 技术减少了人工推测与手工建模的不确定性, 增强了数据信息的分析性, 同时后续实体修复提供了可量化、可验证的参考依据, 提升了修复工程中力学模拟和细节复原等工作的精确度与效率, 实现从“静态模型”到“自我演化的数字孪生”。

4 AI+BIM 技术在苏州西山发电厂修复实践中的应用

4.1 BIM 模型中基于 AI 力学模拟的结构优化

以在苏州西山发电厂输煤廊道中的梁为例, 可依托 BIM 与 AI 力学模拟开展结构优化。

(1) 现状调研与数字化建模

对输煤廊道中梁进行高精度测绘和材质检测, 获取梁的几何尺寸、截面形状、支承方式以及材料强度、缺陷位置等信息, 在 BIM 模型中建立精确的梁构件参数。

(2) 基于 BIM 模型的 AI 力学模拟

在 BIM 模型中引入力学分析条件, 结合梁自重、输煤动荷载、温湿变化及材料退化等因素构建多种工况, 通过 AI 引入物理约束并构建可快速预测应力、变形与疲劳寿命的近似模型, 利用 AI 算法估算中梁在不同方案下的力学表现, 在 BIM 环境中实时评估和调整设计。

(3) 结构优化与方案筛选

在确保安全与耐久性的前提下, 保证最小干预性和材料兼容性等目标, 对梁的加固位置与加固方式开展多目标优化, 最终 AI 在 BIM 中直接完成敏感性分析与方案筛选, 确保决策的科学性与全面性。

(4) 验证与闭环管理

将确定的优化方案回写至 BIM 模型, 生成加固布

置和施工监管方案, 在施工后布设传感器对梁的受力状态进行跟踪, AI 实时分析采集应变与振动数据, 并将结果反馈至 BIM 模型, 实现数字化闭环管理, 确保修复效果的持续性与可控性。

4.2 BIM 模型中基于 AI 图像重建的表面形貌重构

在苏州西山发电厂修复过程中, 烟囱与砖瓦表面纹理的浅淡特征为数字化建模与修复精度提出了较高要求。因此, 本研究在 BIM 模型中引入 AI 图像重建技术, 强化二维图纸与三维模型的智能关联, 推动数字化设计与可视化表达的深度融合^[6]。

(1) AI 驱动的 BIM 初期纹理构建

烟囱与砖瓦纹理的历史细节保存状况参差不齐, 本研究在 BIM 模型构建初期通过多源历史影像与现场高分辨率拍摄数据的 AI 融合分析, 对残存纹理进行轮廓提取, 自动在 BIM 环境中重构纹理, 然后直接嵌入模型几何框架, 实现结构与装饰信息的同步建立。

(2) 在 BIM 模型中利用 AI 进行精细花纹复现

在纹理 BIM 模型初步完成后, AI 进一步介入表面二维花纹的精细复现环节。AI 对比全角度历史照片与实物残片, 进行缺失区域的自动补全与细节锐化。随后利用 BIM 的三维空间定位功能, 将 AI 生成的二维花纹数据映射至模型中对应位置并自动调整曲面贴合度, 在呈现出凹凸质感的同时确保花纹在 BIM 模型中与实体构件完全匹配。

4.3 基于 AI 技术的逆向构件建模

4.3.1 逆向建模的概念界定

本文所指的“逆向建模”, 是通过对遗存构件的现状进行精确测绘和数字化分析, 进行比例关系的还原和连接关系的推演, 利用 AI 反向计算推演其缺失或损坏部分, 并将结果转化为 BIM 体系中使用的三维模型。

4.3.2 AI+BIM 协同的建模流程

(1) 数据采集与智能预处理

在初始阶段, 通过三维扫描与影像测绘获取构件信息。AI 技术的自动清理与特征增强能力能够有效剔除噪点、补足缺失纹理, 相较于离散化表征方法, 该框架在降低数据冗余度的同时保持亚毫米级精度, 从而确保输入 BIM 平台的数据具备更高的精度与完整性, 为后续建模奠定坚实基础^[7]。

(2) 形态识别与构件推断

BIM 平台在 AI 支持下完成构件形态的识别与分解, 对扫描数据中的边界线条、几何比例及装饰特征进行智能解析。对于因拆卸或盗损而缺失的部分, AI 结合构件的对称性与历史资料, 基于已有形态规律进行

合理推断, 生成缺失部分的模型, 并直接转化为 BIM 中的参数化构件族, 使形态还原与模型生成实现同步。

(3) 模型生成与精度优化

通过逐点比对原始点云与生成模型, 利用分解法将模型后根据局部精度分析整体精度^[8]。AI 在 BIM 提供的数据信息和模型特征中提出优化方案并进行实时细部调整从而提高构建模型的精度, 最后通过 BIM 环境定位将构件整合进发电厂整体模型中。

5 结束语

研究表明, AI+BIM 技术能够在保留历史原真性的前提下, 实现对复杂砖混—钢结构病害的精细感知、力学优化与高保真表面复原, 弥补传统方法在精度与效率上的不足。为推动西山发电厂的长期保护与社会化利用, 还需要进一步完善多源数据标准与动态监测机制, 积极开展跨学科产学研协同试点, 并将修复成果纳入文保规范与城市更新策略, 从而实现工业遗产保护、文化传承与城市可持续发展的协同统一。

参考文献

- [1] 常安, 檀晓涓. 工业遗产保护与铸牢中华民族共同体意识[J]. 东方学刊, 2025, (02): 2-13.
- [2] 马航, 苏妮娅. 德国工业遗产保护和开发再利用的政策和策略分析: 以北威州鲁尔区为例[J]. 南方建筑, 2012(01): 28-32.
- [3] 陈汉成, 刘明, 钟远曦. BIM 技术及 AI 技术在装饰领域的应用研究 [J]. 智能建筑, 2022, (02): 62-65.
- [4] 朱瑞, 于建章. 数字音频技术在火力发电项目智慧工程管控中的应用[J]. 电声技术, 2025, 49(01): 78-80.
- [5] 江兆尧, 谢跃文. BIM 技术在 1000MW 大型火力发电工程中的应用[J]. 中国建设信息化, 2024, (06): 56-61.
- [6] 张晖, 徐浩, 何子昂. 浙江工业大学工程设计集团有限公司 智能 AI 与国产化 BIM 的创新融合[J]. 中国勘察设计, 2024, (01): 64-65.
- [7] 刘家旺. 基于 NeRF 的文物建筑三维重建方法[D]. 导师: 谢晓尧; 刘嵩. 贵州师范大学, 2025.
- [8] 伍根, 熊小龙. 基于三维激光扫描测绘技术的 BIM 逆向建筑建模方法研究 [J]. 城市勘测, 2023, (05): 33-37.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS