

基于 BIM-MR 技术的苏州工业遗产改造中施工应用研究

杜宇航, 陈思含, 韦芳*

常熟理工学院商学院 江苏常熟

【摘要】本文以苏州工业遗产为例, 通过研究苏州工业遗产的背景与现状, 分析对工业遗产进行改造施工的可行性, 探究 BIM 和 MR 技术在工业遗产改造施工工程中的应用, 并提出针对苏州工业遗产改造的具体施工方案。将 BIM-MR 技术应用于现代改造施工中, 降低了施工成本与风险, 提高了施工效率与精度, 这将成为现代施工工程新的起点。

【关键词】工业遗产; BIM-MR 技术; 施工

【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 (S202510333072): 基于 BIM+MR 技术的苏州纺织厂旧址改造方案研究; 2024 年度常熟理工学院大学生创新创业训练计划项目 (XJDC2024121): 基于 BIM+MR 技术的苏州纺织厂旧址改造方案研究

【收稿日期】2025 年 5 月 14 日 **【出刊日期】**2025 年 6 月 8 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000203

Research on construction application of BIM-MR technology in the renovation of Suzhou industrial heritage

*Yuhang Du, Sihan Chen, Fang Wei**

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

【Abstract】This paper takes Suzhou industrial heritage as an example, studies its background and current status, analyzes the feasibility of renovation construction, explores the application of BIM and MR technologies in industrial heritage renovation construction projects, and proposes specific construction schemes for the renovation of Suzhou industrial heritage. Applying BIM-MR technology to modern renovation construction reduces construction costs and risks, and improves construction efficiency and accuracy, which will become a new starting point for modern construction engineering.

【Keywords】Industrial heritage; BIM-MR technology; Construction

1 苏州工业遗产研究背景

1.1 工业遗产定义

工业遗产 (Industrial Heritage) 是指工业化进程中遗留的具有历史、技术或社会价值的物质与非物质遗存, 包括建筑、设备、档案等。作为工业文明演进的历史性见证, 其通过物质与非物质要素的耦合关系, 系统阐释了工业发展历程, 并藉由空间符号系统与集体记忆叙事, 形成互文关系, 建构起双重阐释路径。这种表征范式在文化地理学视阈下, 实质构成工业历史沉积层与地方性知识系统的空间化拓扑同构。

1.2 苏州工业遗产现状

苏州工业遗产的历史可追溯至 1860 年代洋务运动

催生的早期民族资本企业, 直到 20 世纪 50 年代, 随着社会主义工业化建设的推进, 苏州诞生了具有显著时代特征与技术演进序列的复合型工业遗产集群, 是中国近现代工业文明转型的极具典型性的空间样本。而当前苏州工业遗产保护与改造领域面临信息化治理体系结构性缺失与全生命周期管理框架碎片化的双重困境。系统性数字化建档机制滞后造成遗产信息孤岛化, 这种技术断层直接导致遗产本体信息在时空维度上的连续性断裂。现有体系的核心矛盾在于“信息-物理”系统的交互断层, 表现为静态单一数字模型与动态物理实体的脱节, 难以实现建筑实体状态与数字模型的实时映射^[1]。为推动工业遗产数字化信息转型, 应基

第一作者简介: 杜宇航 (2004-) 男, 汉族;

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

于建筑信息模型 (BIM) 和混合现实 (MR) 技术构建覆盖勘察、设计、施工、运维等的综合管理平台, 推动保护模式从被动式维护向预防性干预的范式转变。

2 苏州工业遗产改造意义

2.1 历史和文化的价值重构

由于其传统纺织业发展历史悠久, 苏州市拥有以丝绸、纺织等轻工业发展为核心的工业体系。而且, 苏州历史城区交通上的水陆双棋盘格局决定了其传统工业生产和运输要靠近水源以及交通便利, 本地早期的工厂和仓库主要分布于运河两侧^[2]。对苏州工业遗产的本土化合理改造, 能够保护具有一定代表性的苏州传统工业厂房, 重构具有苏州历史城区特色的工业文化发展区, 增加苏州宝贵的轻工业遗产的历史和文化价值。

2.2 城市空间资源合理利用

随着城市规模的不断扩大, 部分工业遗产占据着苏州市一定的空间资源, 是城市内部更新改造的主要对象。作为近现代工业遗产, 这些遗留工业厂区内外部空间较为宽敞, 外部空间范围较为广阔, 整体空间布局选择性强, 在文化休闲、娱乐、办公等创业等产业打造方面利用率高^[3]。在工业遗产地块打造现代化产业, 可以发挥其内外空间结构特点, 让废弃的遗留工业厂区得以再生, 减少由于不合理处理方法而造成的空间资源浪费。

2.3 城市的可持续发展 (生态美化与节能减排)

苏州工业遗产改造通过低碳技术集成、资源代谢优化与生态系统重构的三维协同机制, 构建了多尺度、多要素共变的可持续发展模式, 形成了具有范式意义的工业空间绿色转型模型。《江苏省城市更新规划研究》(2023) 报告中指出, 工业遗产改造通过保留主体结构与建材循环利用, 使建筑废弃物减少, 混凝土、钢材及砖瓦再利用率达到 40%~50%, 节约新建材料成本, 全链碳排放强度降低 22.4%。研究证实, 延长建筑寿命可削减环境负荷, 减少施工隐含碳排放, 形成空间活化与低碳转型的整合发展模型 ($R^2=0.91$), 为破解城市碳锁定提供创新路径。同时, 依托生态基底修复与生物多样性提升, 重构了城市工业用地的生态系统服务功能, 改善局部气候、降低城市热岛效应。

3 工业遗产改造中施工难点

3.1 施工环境复杂, 危险系数高

苏州工业遗产建筑年代久远, 建筑结构复杂, 在施工场地平整中对旧建筑的处理风险很大, 危险系数高。由于常年受到外环境作用, 旧建筑普遍出现墙体开裂、

梁柱变形、内部构件腐蚀等严重老化现象, 安置处理容易发生坍塌事故。同时, 工业遗产建筑空间构造狭小拥挤, 人工投入多, 发生施工事故概率高。因此, 在正式施工前, 施工方需要利用 BIM 等数字化技术充分模拟场布, 检查并解决施工场地中存在的自然风险, 避免施工中出現的人力或财力损失。

3.2 管综复杂, 易造成二次污染

狭小的空间布局以及不合理的构件安装, 使得苏州工业遗产建筑内的管线混乱且复杂, 施工中不合理的处理方式极易导致管线内粉尘、废水等污染物泄露, 造成施工场地的二次污染, 增加施工现场的环境压力。而且, 在地面管线安装工程中, 新旧管道相互对接容易造成老旧管道负载超过最大荷载, 导致旧管道损坏或变形, 污染物渗透至土壤内部。针对容易造成二次污染的复杂管综, 施工方应利用 BIM 碰撞和 MR 现实演示等建筑可视化技术制定合理拆除及安装方案, 降低二次污染发生概率。

3.3 改造安装精度低, 导致资源浪费

在工业遗产改造过程中, 改造施工中的安装精度控制不足会显著影响资源利用效率, 造成非必要消耗, 诱发结构性误差累积风险及工程返工概率上升, 导致全生命周期成本的非线性增长。M50 创意园的原身为上海春明粗纺厂, 于 2000 年起开始转型为艺术创意园区。由于施工过程中新型照明、空调等设备的安装精度不足, 使得后期必须进行二次施工, 进而造成了额外的资源浪费。许多旧工业厂房的设计标准与现行建筑设计规范存在较大差异, 在施工中需要重构“提升改造项目的安全水平, 共同分享安全管理的经验和教训, 推动行业整体进步”的多维体系^[4], 进而达成施工安装中的统一指标, 减少不必要的资源浪费。

4 BIM-MR 技术的提出与在现代施工中的成效

4.1 BIM-MR 技术

(1) 原理

建筑信息模型 (BIM) 是建筑工程领域的范式革新, 通过参数化建模与全生命周期信息集成构建建筑数字模型, 从而实现工程数据中枢的精准映射和构件数据标准化处理。

混合现实 (MR) 是现实世界和虚拟世界相融合的可视化环境。其依托传感器阵列与 SLAM 技术, 结合实时点云配准算法, 形成人机协同的新型交互范式, 从而将所需要的虚拟数字信息和实体环境动态叠加^[5]。

BIM-MR 融合技术基于二者的深度集成, 利用数字化手段实现虚拟模型与现实场景之间的高精度匹配

与动态交互。BIM-MR 技术通过数据总线实现建筑语义信息与空间坐标系的动态匹配, 在施工模拟阶段形成“数字预演-实验验证”的闭环反馈机制, 确保现场采集数据与预加载模型之间的时空校准与光影匹配。其核心在于空间注册误差控制在 $\Phi < 0.1^\circ$ 的工业级精度要求, 提升了施工可视化的效率, 为智慧建筑提供了可靠技术支撑。

(2) 应用投入

Trimble 公司通过 HoloLens 2 和 BIM 云管理平台 Trimble Connect 的结合, 将 MR 技术应用于建筑施工, 通过人机协同机制实现施工误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 的工程验收标准。基于 Trimble XR10 安全帽搭载的 MR 智能终端设备, 施工人员可通过空间注册技术在施工现场实时访问 BIM 数据, 借助三维可视化界面优化施工工艺执行精度, 并显著降低质量偏差率。

基于 BIM-MR 协同技术框架的建筑信息模型驱动型施工仿真, 通过 4D 进度模拟与混合现实空间注册技术实现施工方案的三维可视化交底, 帮助施工人员直观理解施工步骤和要求。例如, 在该北京东三环航华科贸中心改造项目中, 中建一局创新性地将 BIM 和 MR 技术结合, 有效提升施工人员对复杂工序的空间认知精度, 成功完成机电管线改造和球形钢网架拆除施工。

4.2 施工过程中 BIM-MR 技术的成效

随着建筑施工的数字化、专业化加强与 VR、AR 技术在建筑行业的根深蒂固, BIM-MR 技术在施工环节上的应用也逐渐体现。

上海市某新建仿古园林酒店为了实现隐藏现代元素打造古园林风, 在施工前运用 BIM 技术建立节点模型模拟建筑内外构件, 再通过 MR 眼镜叠合节点模型与现场结构, 完成实景漫游、视线分析, 从而得出最佳施工方案^[6]; 绵阳南郊机场施工时施工交叉频繁、接口多、项目杂, 机电安装施工难度大, 为此, 施工方直接运用 MR 混合现实技术, 通过将 BIM 模拟出的数字模型与施工场地的暖通、给排水、消防、强弱电等机电系统进行比对, 实现对机电安装施工现场的动态化监控, 减少资源消耗^[7]。

利用 BIM 生成的数维模型与 MR 混合现实中的实体进行匹配分析, 施工方能够轻松地获得高效率、低损耗的施工方, 针对苏州工业遗产的施工过程也可以合理安排并实时监控。

5 BIM-MR 技术在苏州工业遗产改造中施工应用

5.1 智慧工地安排施工流程

在施工开始前, 施工方可以借助 MR 设备 (如

HoloLens) 实现实际场地上“走进”BIM 模型, 从第一人称视角预观察老旧厂房内外部的结构布置和施工工艺, 利用这种沉浸式漫游优化设计和验证设计合理性。

通过 MR 技术, 能够在虚拟现实实现预施工阶段的碰撞检测和工序模拟, 提前识别设计与施工中可能出现的硬碰撞或软碰撞问题, 确保项目各环节在施工前达到最佳状态, 降低返工风险。

在施工现场, 施工现场人员利用 MR 技术可以实时获取 BIM 模型中的最新施工数据, 在二者形成交互时将虚拟指令与实际作业环境相叠加, 动态识别构件的安装位置, 判断构件的安装状态是否符合规定, 进行有效干预, 以实现实时监控功能和动态调度管理^[8]。

在施工过程后期, 借助 MR 技术更加细致地捕捉和收集施工过程中产生的各类信息, 利用 BIM 平台建立施工后期数据反馈与运维管理的闭环机制, 为后续运维阶段的设备检修和质保追溯提供数据支持。这种数字信息闭环体系有助于持续优化施工流程, 并推动建筑全生命周期管理水平的提升。

5.2 动态环境监控控制二次污染

苏州工业遗产的老旧厂房内外管线交错混乱且纷繁复杂, 有害构件年代久远且老化严重, 处理不当将会对厂房附近环境造成二次污染。针对环境污染风险, 可利用 BIM 模型集成物联网传感器, 对施工现场的空气、温度、湿度等外环境进行监控, 实施预警功能。与此同时, MR 设备的虚拟现实叠加技术能够精确观察到厂房内老旧构件的实时状态, 通过每个阶段的状态报告与 BIM 信息系统中的标准数据进行比对, 确保管线周边污染未超出阈值。

此外, 也可以利用 BIM-MR 的绿色施工工艺优化现场的施工布局与方式, 减少由切割、焊接等造成的二次污染。同时, 由 MR 混合现实技术进行现场污染物运输引导, 对现场产生的污染物进行分类合规处理, 降低二次污染发生概率。

5.3 虚拟空间精调结构性能

在 MR 平台利用 Unity3D 等实时渲染引擎后, 将转换后的 BIM 模型载入虚拟空间, 因此工程团队可通过佩戴 MR 设备实时获取结构体系的三维动态可视化数据, 例如应力云图和变形曲线, 通过数据对比和迭代来优化结构节点并改进构件设计, 建立起涵盖宏观结构体系到微观构造细节的多尺度设计优化机制。在完成虚拟空间中的精调后, 再把所有调整数据记录并反馈到 BIM 平台进行进一步设计性能评估, 通过虚拟化

和数字化相结合的预测评估手段进行优化决策, 从而降低后期修改和返工成本。

5.4 精准定位减少安装工程资源消耗

安装工程的资源消耗在整个施工过程中最容易产生损耗, 通过 BIM-MR 技术对构件安装的精准定位能够减少这些损耗。在安装工程中, 可优先利用 BIM 对机电系统的构件进行三维建模, 再将 BIM 模型导入 MR 混合现实场地环境中, 通过现场 MR 技术的实时比对, 确认不同安装构件的正确安装位置, 提高安装工程资源的利用率。

同时, 利用 BIM 信息系统与 MR 混合现实环境相交互, 现场施工的动态数据会传向信息系统, 使得 BIM 信息系统能够实时监控现场安装工程进度; 信息系统做出的施工方案的动态修正也能够及时的传向施工场地, 避免安装工程中因为信息的时效性而造成的资源浪费。

6 结论

本文从城市更新中针对工业遗产改造的方向入手, 细致探索苏州工业遗产进行施工改造的可行性条件, 再根据苏州工业遗产所处的现状以及老旧建筑的结构、环境等因素判断出对工业遗产改造施工过程中的局限性, 并由此引出 BIM-MR 技术。接着系统性地介绍了 BIM-MR 技术的定义与在市面上的存在形式, 并通过 BIM-MR 技术在国内建筑施工行业的成功案例证实了该技术运用于工业遗产改造施工的可行性, 还为该技术投入改造施工的应用提供了创新性思路。本文通过理论数据与实例分析证明了 BIM-MR 技术投入苏州工业遗产改造施工的可行性, 并为工业遗产改造提供了高效、经济且环保的施工方法, 相信在未来的建筑改造

施工过程中, BIM-MR 技术的重要性将愈发彰显, 对施工工程的发展将起到里程碑的作用。

参考文献

- [1] 郑洪伟,何堃豪.基于BIM的智能建造全周期数字孪生研究与应用[J].中国勘察设计,2024,(12):94-98.
- [2] 徐捷.苏州工业遗产保护与适应性再利用对策研究[J].城市建筑空间,2022,29(12):49-51.
- [3] 李升文.空间重生——文创园区型工业遗产更新设计研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(04):19-21.
- [4] 陈嘉健,苏平.工业厂房改造活化过程中存在的难点及对策建议[J].中国建筑装饰装修,2024,(17):136-138.
- [5] 李万渠,赵楠,向程侃,等.BIM-MR 在建筑工程技术专业教学中的应用研究[J].四川建筑,2024,44(06):307-308.
- [6] 黄亦楠.基于 BIM-MR 的仿古建筑机电隐蔽应用实践[J].建筑科技,2023,7(05):39-41+62.
- [7] 宿灵,刘廷,陈兴起,等.BIM-MR 虚拟混合现实技术在机场机电安装中的应用[C]//中国图学学会土木工程图学分会,《土木建筑工程信息技术》编辑部.《第十届 BIM 技术国际交流会——BIM 赋能建筑业高质量发展》论文集.中国建筑第四工程局有限公司,2023:6-9.
- [8] 吴要山,杨玺.浅析 BIM 技术在建筑智能化施工阶段的应用[J].智慧中国,2025,(03):105-106.

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