

近代工业建筑遗产的数字化保护路径研究

——以南通张謇相关工业遗存为例

温怡甜, 洪天宇*, 刘新月

南通理工学院传媒与设计学院, 江苏 南通

收稿日期: 2025年10月28日; 录用日期: 2025年11月30日; 发布日期: 2025年12月11日

摘要

本文以张謇在南通推动建设的近代工业建筑为研究对象, 系统探讨数字化技术在工业遗产保护中的应用路径。通过整合多源数据采集、高精度三维建模与虚拟展示等关键技术, 构建了一套适用于近代砖木结构工业建筑的数字化保护方法体系, 旨在实现工业遗产的精准记录、科学保护与活化传承, 为相关类型遗产的数字化实践提供参考。

关键词

数字化保护, 工业建筑, 张謇

Research on the Digital Preservation Approaches of Modern Industrial Architectural Heritage

—Taking Relevant Industrial Remains of Zhang Jian in Nantong as an Example

Yitian Wen, Tianyu Hong*, Xinyue Liu

School of Media and Design, Nantong University of Technology, Nantong Jiangsu

Received: October 28, 2025; accepted: November 30, 2025; published: December 11, 2025

Abstract

This paper focuses on the industrial architectural heritage developed by Zhang Jian in Nantong,

*通讯作者。

systematically exploring the application of digital technologies in industrial heritage preservation. By integrating key techniques such as multi-source data collection, high-precision 3D modeling, and virtual display, it establishes a digital protection methodology suitable for modern brick-wood industrial structures. The research aims to achieve accurate documentation, scientific conservation, and dynamic revitalization of industrial heritage, providing a reference for digital practices concerning similar types of heritage.

Keywords

Digital Preservation, Industrial Architecture, Zhang Jian

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

历史建筑是文化遗产的重要组成部分。张謇在南通兴建的工业建筑群是中国近代工业化进程的重要见证，具有丰富的历史、文化与科技价值。然而，随着时间推移，这些建筑面临着自然侵蚀与人为改造等多重威胁，亟待有效的保护与记录手段。近年来，数字化技术为建筑遗产保护提供了新的方法。国际上，如英国铁桥峡谷、德国鲁尔区等工业遗产地已广泛采用三维扫描、BIM 与 VR 技术进行记录与展示。国内研究如李宏对上海杨树浦电厂的数字化重建，亦展示了技术在工业遗产保护中的潜力。然而，现有研究多集中于西方案例或国内宏观策略，缺乏针对中国近代砖木结构工业建筑，尤其是张謇相关遗存的系统性技术实践研究。本文旨在填补这一空白，通过以南通大生纱厂等为例，详细阐述从数据采集到模型构建的全流程关键技术，以提升工业遗产数字化保护的技术深度与落地可行性。

2. 张謇相关工业建筑的历史价值与保护现状

张謇在南通推动建设的工业建筑，如大生纱厂、资生铁厂等，是中国近代工业化起步阶段的重要实物见证。这些建筑在结构、材料与空间形态上体现出鲜明的时代与地域特征，如采用砖木混合结构、锯齿形屋顶以及适应生产的通风与采光设计，反映了早期工业建筑的技术与艺术特点。

尽管这些建筑具有重要的历史与科技价值，但其保存现状不容乐观。多数建筑存在结构老化、材料风化及局部改建等问题，传统保护方法难以实现精细化记录与干预。因此，亟需引入数字化技术，为其保护、研究与展示提供新的路径。

3. 数字化保护的关键技术与方法

随着现代信息技术的发展，以数字化为核心的新型技术广泛应用于社会发展的各行各业，尤其是与古代建筑领域的融合有效提升了建筑保护水平，为我国古建筑修复、信息化管理以及评估研究等各项工作提供了全新发展动力[1]。针对张謇相关工业建筑的数字化保护方案，简要概括为以下几个研究保护步骤。

3.1. 多源数据采集与融合

三维光扫描技术又称“实景复制技术”，是古建筑数字化保护中常用的技术手段[2]。运用三维激光扫描仪对工业建筑进行全方位扫描来获取高精度的三维点云数据并且能够精确记录建筑的几何形状以及

尺寸和空间关系,为后续的三维建模提供基础数据。扫描时需根据建筑的规模和复杂程度来设置合理的扫描站点,确保数据的完整性和精度。通过拍摄大量高清照片,利用摄影测量软件进行处理,可以生成建筑的三维模型和纹理信息来弥补激光扫描在纹理细节方面的不足。利用无人机倾斜摄影技术对指定区域进行详细扫描,从而获取该区域的地形地貌、村落格局、植物配置等基本信息[3]。无人机测绘可提供建筑的俯视图和不同角度的视图,有助于全面了解建筑的结构和布局。记录建筑的空间分布信息和周边环境数据等,将建筑的数字化成果与其地理空间信息相结合,实现对工业建筑群的整体管理和分析。

针对南通工业遗产建筑独特的砖石纹理,本文采用高分辨率摄影测量与激光扫描数据相结合的方法,实现高保真纹理映射。在数据采集过程中,使用高分辨率相机对建筑的砖石纹理进行细致拍摄,确保纹理信息的清晰度和完整性。同时,利用激光扫描数据提供精确的几何形状和深度信息,使纹理能够准确地映射到三维模型上,从而实现对建筑外观的高精度还原。

对于建筑内部的大型机械设备遗存,本文采取单独建模并与建筑模型整合的策略。首先,对机械设备进行详细的三维激光扫描,获取其精确的几何数据。然后,使用专业的三维建模软件对机械设备进行单独建模,确保其细节和结构的准确性。最后,将机械设备模型与建筑模型进行整合,通过坐标系的匹配和数据格式的转换,使机械设备模型与建筑模型无缝结合,形成一个完整的数字化展示场景。

3.2. 高精度三维建模与纹理映射

在开始点云处理之前,必须先进行去噪、平滑等步骤,以减少扫描仪带来的噪声数据,同时也能够有效地消除点云中的重叠部分和缺失部分[4]。在点云数据基础上,采用 MeshLab、CloudCompare 等进行去噪与精简,后在 3ds Max 中构建建筑主体结构模型。针对砖石墙面,将摄影测量获取的高清影像通过 Substance Painter 等工具进行校准与映射,实现砖缝、风化痕迹等细微特征的高保真还原。对于厂房内部留存的纺织机械等大型设备,进行单独精细化建模,并通过坐标系配准实现与建筑模型的无缝整合,完整再现历史生产场景。

3.3. 虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术应用

基于 Unity 平台或 UE 等游戏引擎开发虚拟现实应用,整合建筑与设备模型,开发 VR 交互系统,用户可漫游于虚拟厂房中,查看建筑结构、设备布局及动态模拟的生产流程。同时,结合 AR 技术,开发基于移动端的大生纱厂旧址 AR 导览应用,通过识别现实场景叠加历史影像与结构解析动画,可以实现用户高质量的沉浸式体验,使得用户在实地参观工业建筑时实时获取建筑的历史背景和结构解析以及文化内涵等信息增强用户对建筑的理解和体验。

3.4. 数字化档案管理与共享

数字保存是对数字技术进行合理运用,广泛使用数字技术来捕获和存储建筑信息,并通过多种方式对建筑信息进行全方位储存[5]。整合历史文献资料、实地调研数据、三维模型和虚拟场景等信息,建立张謇时期工业建筑的数字化档案。对档案进行系统分类、标注和存储,确保数据的完整性和准确性。使用数据库管理系统如 MySQL 或 PostgreSQL,可以有效组织和管理大量数据。构建数据共享平台,采用云计算技术实现数据的集中存储和管理,制定统一的数据标准和访问权限,方便研究人员、保护工作者和公众访问和使用数字化数据。通过共享平台,可以促进不同地区、不同机构之间的数据交流与合作,推动数字化保护技术的传播和应用。

3.5. 数字化保护规划与监测

依据数字化研究成果,结合建筑的历史价值保存现状和环境因素,制定科学合理的保护规划。明确

保护的重点区域、保护目标、保护措施以及实施步骤，为工业建筑的保护和修复提供指导依据。保护规划应具有前瞻性和可操作性，确保保护工作的有序进行。数字监测指利用传感器、摄像头和数据采集系统，实时监控传统村落的结构变化、环境影响等，记录建筑物的老化、损坏等情况[6]。通过采集和分析监测数据，及时发现建筑的病害和潜在风险，为保护工作提供科学依据，实现对建筑的动态保护和管理。

4. 南通地区工业遗产数字化保护的挑战与对策

4.1. 技术实施与地方适应性问题

南通的近代工业建筑以砖木结构为主，如大生纱厂的联排锯齿形屋顶厂房，其结构庞大、内部空间复杂，且历经百年，存在不同程度的材料风化与结构变形。南通滨江临海，空气湿度高，季节性降雨频繁，这不仅加剧了建筑本体的病害，也为野外数据采集作业带来了窗口期短、设备易受潮等实际困难。

为了解决这一问题，我们制定了符合本地气候条件的技术方案。数据采集工作应避开梅雨及高温高湿季节，优先选择春秋季节进行。针对砖木材质，需采用多源数据融合采集技术：对于宏观结构与复杂形变，使用三维激光扫描进行精确捕捉；对于砖砌肌理、木质梁坊上的铭文及精美装饰等细节，则采用高分辨率近景摄影测量进行补充。在数据处理阶段，应建立针对南通地区常见建材(如本地青砖、进口红砖、南洋硬木)的数字化材质库，为模型的高保真纹理映射提供标准化的本地素材。

4.2. 资金与人才保障挑战

数字化保护项目前期设备投入大、技术门槛高，而南通市的财政实力与上海、苏州等城市相比存在差距，难以持续投入巨额资金。同时，本地精通文化遗产与数字技术的复合型人才严重短缺，项目往往需要高价外聘上海、南京的团队，导致成本高昂且不可持续。南通在高端设备与专业技术人才方面资源有限。可争取江苏省文化遗产保护专项资金，同时与高校(如南通大学)合作，共建实践基地，培养本地技术力量，推动项目的可持续实施。

4.3. 公众参与机制构建

尽管张謇是南通的文化名片，但公众对其工业遗存的认知多停留在“老房子”、“旧厂房”层面，对其在中国近代化进程中的独特价值、科技内涵理解不深，导致社会保护意识与参与度不足。可结合张謇“实业救国”的地方历史语境，开发面向学校的 VR 教育课程及公众开放日活动，通过数字化展示增强文化认同，推动社会力量参与保护。

5. 结语

数字化保护为南通张謇相关工业建筑的价值存续与传播提供了有效路径。通过综合运用多种技术手段，不仅实现了遗产的精准记录与动态监测，也为其展示利用与公众教育创造了新的可能。未来，随着人工智能、区块链等技术的发展，工业遗产数字化保护将向更智能、更开放的方向演进，进一步激发遗产的当代生命力。

基金项目

国家级大学生创新创业训练项目，张謇时期工业建筑的数字化保护(202512056071Z)。

参考文献

- [1] 王果. 基于成渝两地的古建筑数字化保护研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(3): 190.
- [2] 陈戈言. 哈尔滨老道外中华巴洛克式建筑数字化保护方案研究[J]. 上海包装, 2025(2): 105-107.

-
- [3] 贾春光, 王瀚霆. 吉林省乌拉街满族镇数字化保护利用研究[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2024, 45(3): 118-125.
 - [4] 郭钰, 杨永明. 3 维激光扫描技术在历史建筑保护中的应用[J]. 激光技术, 2024, 48(4): 608-612.
 - [5] 唐陈, 张莉, 蔡雨欣, 等. 国内传统建筑数字化保护研究现状与趋势[J]. 城市建筑, 2025, 22(4): 1-4+34.
 - [6] 张瑶. 徽州传统村落营造技艺数字化保护研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽理工大学, 2025.