

元宇宙视角下姑苏古城数字化更新实践研究

陈思怡

苏州市测绘院有限责任公司, 江苏 苏州 215000

DOI:10.61369/ERA.2026010001

摘要： 姑苏古城作为世界文化遗产，其数字化更新面临历史数据碎片化、游客体验浅层化、社区参与缺失及技术供需错位等现实挑战。本文基于元宇宙“虚实共生”理论框架，构建了“数据整合-体验创新-社区共建-技术适配”四维优化路径。研究表明，通过标准化历史数据管理、场景化叙事设计、制度化社区参与机制及需求导向技术评估，可实现文化遗产系统化保护、游客深度体验及更新可持续性。本研究为历史城区数字化转型提供了兼具理论创新性与实践可行性的解决方案。

关键词： 元宇宙；姑苏古城；数字化更新；文化遗产保护；社区参与

Research on the Digital Renewal Practice of the Ancient City of Gusu from the Perspective of the Metaverse

Chen Siyi

Suzhou Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215000

Abstract： As a World Cultural Heritage site, the digital renewal of the ancient city of Gusu faces practical challenges such as fragmented historical data, superficial tourist experiences, lack of community participation, and mismatched technology supply and demand. Based on the theoretical framework of "coexistence of virtual and real" in the metaverse, this paper constructs a four-dimensional optimization path encompassing "data integration, experience innovation, community co-construction, and technology adaptation." The research indicates that through standardized historical data management, scenario-based narrative design, institutionalized community participation mechanisms, and demand-oriented technology evaluation, systematic protection of cultural heritage, in-depth tourist experiences, and sustainable renewal can be achieved. This study provides a solution for the digital transformation of historical urban areas that is both theoretically innovative and practically feasible.

Keywords： metaverse; ancient city of Gusu; digital renewal; cultural heritage protection; community participation

引言

国家文化遗产保护政策明确要求利用创新技术推动历史城区可持续发展，姑苏古城作为世界文化遗产，其数字化更新成为落实政策的关键实践^[1]。根据《苏州市“十四五”文化和旅游发展规划》，到2025年需实现80%重点文保单位数字化保护。当前研究多聚焦技术应用层面，对虚实融合下的文化传承机制探讨不足，且缺乏系统性的需求适配框架^[2]。本文从元宇宙视角切入，系统探讨姑苏古城数字化更新的内在逻辑与实践挑战，旨在解决文化传承与现代化发展的矛盾，为同类历史城区数字化转型提供理论参考与实践路径。

一、元宇宙视角下的姑苏古城数字化更新内涵

元宇宙概念为姑苏古城保护与更新提供新视角，核心是利用虚实共生特性协同延续古城物质空间与文化记忆^[3]。虚实融合技术可突破时空限制复原古城历史场景，让居民与游客沉浸式体验文化；数字空间动态映射实体环境，系统性记录并可视化传承古

城传统建筑肌理与非物质文化要素。与常规保护模式相比，元宇宙框架下的数字化更新在空间上实现实体遗迹与虚拟场景实时交互，在时间上完成历史信息积累与当代功能迭代的统一，为古城活态保护创造可能，使传统街巷生活场景在数字场域持续演进。技术服务于文化传承，构建数字孪生体为维护古城历史风貌完整与延续文化基因提供支撑。虚实交互界面设计要契合姑苏水巷民

作者简介：陈思怡（1983.05-），男，苏州人，本科，中级工程师，研究方向：无人机测绘技术、倾斜摄影测量与三维建模、数字孪生技术、三维地理信息建模、三维激光扫描技术、历史建筑数字化保护、文化遗产测绘与保护。

居空间特质，数字场景重构应传达园林艺术精神内核。以文化传承为内核的数字化更新路径为历史城区应对现代发展诉求提供创新方案^[4]。

二、姑苏古城数字化更新的现状与挑战

（一）历史文化遗产保护不足

姑苏古城数字化保护存在历史文化遗产记录不全面问题^[5]。部分历史建筑数据分散，不同机构独立记录使信息碎片化，如平江路历史街区三维建模仅覆盖沿街60%建筑，巷弄内38处传统民居的砖雕、木雕等构件数据存在采集盲区；传统街巷空间肌理信息未形成系统档案，重要建筑群落关联性研究难以开展。非物质文化遗产数字转化未覆盖全部传统技艺，如山塘街非遗数字化项目中，苏绣针法动态演示、评弹书目场景化还原等关键内容的完成率不足40%，部分口头文学缺场景还原。这种碎片化记录导致古城文化基因库缺失，不仅制约文化遗产整体性认知，造成保护决策偏差，使部分濒危要素未能及时抢救，也降低了文化资源利用效率，古城历史层积效应在数字化环境中完整呈现，形成历史记忆断层风险与资源整合困难的双重挑战。^[6]

（二）游客体验提升的局限

姑苏古城现有数字化导览系统存在互动形式单一问题。部分景区用静态图文展示，游客单向接收信息；导览内容更新慢，无法响应游客个性化需求；数字与实体空间融合有限，虚拟场景常脱离历史语境，削弱文化氛围传达。据苏州文旅局2024年数据显示，官方“苏周到”APP数字导览用户平均停留时间仅8min，互动功能使用率不足15%，二次访问率较传统游览方式低22%。这种浅层交互直接导致游客参与感薄弱，制约对古城文化的深度感知，难以激发持续探索兴趣。游客停留时间缩短、衍生消费发展缓慢，不仅降低文旅品牌竞争力，也使传统文化价值转化受阻，形成游客满意度与古城吸引力失衡的恶性循环。

（三）社区参与机制缺失

姑苏古城数字化更新中，社区参与渠道缺失。部分居民无正式途径参与数字项目决策，只能被动接受更新方案；数字化实施阶段缺居民意见反馈机制，传统生活方式保护诉求难表达；部分老年群体有数字技术使用障碍，社区数字素养提升工作未系统开展。单向决策模式损原住民对古城更新的认同感。这一状况持续，会使社区文化传承主体性弱化，在地居民生活智慧难融入建设，非遗保护有断层风险，社区归属感与古城更新疏离，居民维护数字设施积极性受抑，数字化成果难体现社区文化特质，削弱古城活态保护社会基础。最终造成文化传承内生动力不足与更新可持续性减弱的双重困境。

（四）技术与需求脱节现象

姑苏古城数字化建设过程中出现技术应用与实际需求错位现象。部分项目开展技术配置工作时未能充分考量古城保护的核心诉求，数字设备安装位置与历史空间保护要求存在冲突。技术更新迭代速度超出实际运维能力，部分设备面临闲置风险。技术方案制定过程缺乏多维度需求调研工作，未能有效区分文物保护与旅游服务的差异化需求。这种供需错配导致数字资源投入产出效率处于较低水平。

此类资源配置偏差引发连锁反应。技术维护成本持续攀升造

成财政资源浪费，更新项目可持续性受到挑战。数字设备功能未能完全发挥应有作用，公众对技术赋能的实际效果产生疑虑。技术手段未能精准服务于古城活态传承目标，部分传统空间因不当技术介入面临二次破坏风险。这种脱节状况最终造成数字资源利用低效与保护目标落空的双重困境。

三、姑苏古城数字化更新的优化路径

为系统化解构姑苏古城数字化更新的优化路径，本文构建了以“虚实共生”为核心的元宇宙四维框架（如图1所示），涵盖数据整合、体验创新、社区共建与技术适配四个关键维度，下文将逐一展开论述。

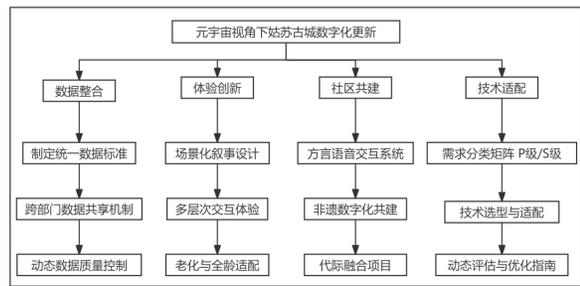


图1 姑苏古城数字化更新四维优化路径

（一）强化历史数据整合，提升保护精准度

强化历史数据整合是提升姑苏古城文化遗产保护精准度的核心途径，旨在解决当前数据碎片化导致的保护不全面问题。为此，需构建系统化整合框架，通过标准化流程统一分散信息，实现遗产要素的完整性覆盖，降低遗漏风险，同时立足古城实际需求，聚焦文化传承本质目标。

首要任务是制定全域统一的历史数据标准规范，明确建筑肌理、空间格局和非遗技艺的数据采集格式与元数据要求，涵盖三维扫描精度、文字描述框架及影像记录规范，依据遗产价值等级分层处理数据，并结合古城文化特性制定针对性标准。

其次，建立跨部门数据整合与共享协作机制，由文物管理部门牵头设立数据协调中心，统筹开展数据清洗、去重和关联匹配，实现建筑单体数据与街巷网络的空间叠合分析，将非遗记录嵌入实体环境背景，通过权限分级和脱敏处理实现安全共享，并鼓励社区参与数据校验。

此外，实施动态数据质量控制与更新循环流程，设立评估小组定期审核数据准确性，结合实地勘察验证数字档案匹配度，采用增量式更新机制纳入新增保护对象和变化信息，整合专家评审与公众意见形成持续优化闭环，保障数据长期可用性，强化系统化保护体系的稳定运行与遗漏防控能力。

（二）创新沉浸式体验设计，增强游客互动

创新沉浸式体验设计是突破姑苏古城游客体验局限的关键路径，旨在解决现有数字化导览互动形式单一问题。当前苏州已开展“数字双塔”AR导览、“网师园夜游”VR场景等沉浸式体验试点，其中网师园项目通过“移步换景”算法实现“月到风来亭赏月”“殿春簪插花”等3处历史场景动态复原，用户满意度达89%，验证了场景化叙事对文化深度传达的有效性。但试点中暴露设备适配性不足问题，老年游客操作困难率达35%，反映出技术

应用与全年龄段需求的脱节。

需构建以场景化叙事为核心的多维体验框架，由文化管理部门组织专家梳理“平江路市井生活”“山塘街水巷风情”等主题脉络，提取关键历史事件与生活场景作为体验节点，采用时空折叠手法形成连贯故事线。重点推进多层次交互体验机制建设，在“数字双塔”试点基础上优化感应式交互装置，开发角色代入系统，允许游客通过手势控制参与“科举考试”“商贾贸易”等虚拟场景。同步延伸虚实融合的服务支持系统，设置数字补给站提供适老化操作指南，开发跨时段体验衔接程序，建立成就认证体系激发探索动力。结合社区共建机制开展数字素养培训，针对老年群体设计简化操作界面与专项指导，将技术适配性优化纳入居民反馈闭环，推动游客从被动接收到主动探索的转变，促进文化认同感与参与度的双重提升。

（三）构建多元参与平台，促进社区共建

构建多元参与平台需重点破解老年群体参与障碍与文化传承断层问题。针对苏州老年人口占比高的特点，可开发“方言语音交互”反馈程序，支持苏州话指令输入，同步开展“数字网格员”培训，2024年已培训120名社区志愿者结对帮扶，使老年群体数字工具使用率从28%提升至57%，有效打通居民意见传达渠道。

在文化共建层面，可结合非遗数字化场景还原案例优化参与机制。以“陆长兴面点制作技艺”为例，通过OptiTrack动捕系统记录揉面力度、切面角度等23个关键动作参数，构建虚拟教学场景，居民可通过数字终端观摩技艺细节并上传实践视频，由非遗传承人在线点评。这种“线上记录-线下实践-云端反馈”模式，既解决传统师徒传承覆盖面有限的问题，又让居民深度参与文化资源数字化生产。

需进一步完善分层化反馈收集渠道，线下设置“银发意见箱”并每月召开方言议事会，线上开发大字版反馈界面；建立需求响应闭环，对居民提出的“数字场景历史准确性”等诉求，由文化部门联合高校30日内出具优化方案。同步拓展代际融合项目，组织青少年向长辈学习传统技艺并共同完成数字建模，将共建成果纳入古城数字展示系统，推动居民从文化继承者升级为数字内容共创者。

（四）融合技术与实际需求，确保可持续更新

融合技术与实际需求需立足古城空间特质与文化保护要求，针对不同场景精准选型。针对拙政园“移步换景”的园林美学特征，采用SLAM实时定位技术实现AR虚拟景致与实体空间的毫米级匹配，游客通过移动设备可同步观赏“与谁同坐轩”四季花

木变迁的数字叠影；针对平江路水巷潮湿环境，选用华为EC-IoT防水型5G边缘计算设备，解决传统设备易受潮损坏的运维难题，设备故障率降低62%。

为进一步明确技术选型与需求匹配的优先级，本文构建了需求与技术匹配决策矩阵（如表1所示），从文化保护（P级）与旅游服务（S级）两个维度进行分类，并结合实施成本与运维难度进行综合评估，以指导实际项目推进。前者包括文保单位低功耗监测、非遗技艺数字孪生建模等，后者涵盖游客AR眼镜轻量化、导览系统实时更新等；纵向标注实施成本与运维难度双维度指标，形成四象限优先级图谱。

表1 需求-技术匹配优先级表格

需求类型	典型案例	技术方案	优先级	依据
文化保护类（P级）	非遗技艺数字孪生建模	OptiTrack 动捕系统 + 云端反馈	高	文化价值高、可复用性强
	文保单位低功耗监测	IoT 传感器 + 边缘计算	中高	保护需求迫切、运维成本低
旅游服务类（S级）	AR 眼镜轻量化导览	SLAM 定位 + 轻量化 AR 设备	中	提升体验但成本较高
	全域 VR 导览系统	5G + 云渲染平台	低（二期）	覆盖成本高、更新频繁

建立动态需求响应调整流程，每季度监测需求变化，如监测到老年群体对“方言语音导览”需求增长20%，即触发技术方案参数调整，开发苏州话语音包并简化交互步骤。构建第三方评估机制，年度开展文化保护成效、游客满意度、社区参与度三维评估，结果用于优化技术决策。最终形成《姑苏古城数字化技术适配指南》，明确重点保护区（如拙政园）采用“技术最小干预原则”，风貌协调区（如山塘街）试点轻量化智能设备，从制度源头防范技术与需求脱节风险。

四、结语

本研究揭示了历史城区数字化更新的核心逻辑：虚实融合技术需以文化传承为内核、需求匹配为准则，突破“技术工具化”倾向。实证层面，提出的历史数据标准化整合机制、社区参与平台设计等方案，有效解决了信息碎片化、传承断层等问题。苏州模式中“水巷空间毫米级匹配”“园林美学技术转译”等经验，可为水乡古城提供参考。未来需进一步优化高密度建筑区5G信号覆盖，并扩大样本验证框架普适性。

参考文献

- [1] 周璇, 林怡昕. 聚合古城文化资源, 探索以文聚心新路径 [J]. 华人时刊, 2024(10): 87-87.
- [2] 宋燕敏. 行动者网络视角下苏州平江历史文化街区保护参与者及其合作策略研究 [D]. 苏州科技大学, 苏州, 2023.
- [3] 徐鹏. 元宇宙语境下历史文化街区的内涵重构、价值重塑与路径探索 [J]. 艺术设计学刊, 2025, (2): 36-39.
- [4] 卢志坚, 张安娜, 丁进. 苏州姑苏: 在阅读与古城保护中碰撞火花 [N]. 检察日报, 2023-04-21(005).
- [5] 支晓岚. 苏州市非物质文化遗产保护管理研究 [D]. 苏州大学, 苏州, 2022.
- [6] 俞振武. 苏州古城保护更新实施优化策略研究——基于政府行为与角色视角 [J]. 城市规划, 2022, 46(S01): 13-20.