绍兴越地文化遗存数字孪生轻量化架构构建与应用

许 瞳，章 佳

（绍兴文理学院上虞分院，绍兴 312300）

摘要：数字孪生技术为传统历史文化遗存保护提供了新思路。在方法论层面验证绍兴越地文化构建轻量化架构与应用的可行性。通过轻量级传感网络、知识图谱与移动端AR/NFT（增强现实/非同质化代币）的组合，绍兴越地文化遗存的数字化保护尝试在不增加重型设备的前提下，实现文化遗存实时监测、弹性研学与数字消费的闭环设计，将保护、传承与产业转化统合成同一套数据驱动的可持续生态。所形成的新评估框架可以为同类型的历史文化遗存提供可复制、可考核的行业模板，并助力传统文化从静态展示走向自我更新的数字形式。

关键词：数字孪生；越地文化；历史街区；轻量化；保护策略

中图分类号：G249.27 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)05－0232－07

越地文化赓续千年，绍兴古城自春秋时期成为越国都城以来，建城已逾两千年，期间城址从未改变，是国内至今保存最完整的历史名城之一。作为首批上榜国家级历史文化名城名录的城市，绍兴古城的历史、美学、民俗构成了最具辨识度的越地文化知识产权（intellectual property，IP），彰显了绍兴越地文化深厚的历史底蕴。尽管有着丰富的历史文化资源，绍兴文旅产业发展在省内同级别城市中并未处于较前列的水平。目前关于绍兴越地历史文化资源的保护手段主要采用传统修复加展陈模式，作为一个有着丰富文化资源的城市，此类静态单一的方式已难以满足文旅融合与产业更新的双重需求，弘扬越地优秀传统文化的效果亦逐渐减弱。

随着国家文化数字化战略的推进，涌现出了一批代表性的数字文化项目。“数字敦煌”项目推动了敦煌博物馆的壁画资源实现数字化展示；“云游故宫”项目，观众通过数字漫游形式自由参观故宫展厅[1]。类似案例表明文化遗产的数字化保护已成为新的文保趋势。但既有的实践多聚焦数字化存档和沉浸展示，缺乏数据驱动到实时演化再到商业闭环的整体思维。数字孪生技术“感知-建模-映射-反馈”的技术特点实现了全周期循环[2]。通过文旅产业与数字孪生技术的结合，可设计推演出一套可行的技术路径和商业模式。高精度还原历史空间，并持续收集环境、客流、商业等多维数据，使文化遗存成为可自我更新的活化系统。

基于数字孪生理论的方法论框架，展开对绍兴越地文化元素的创新设计转化路径研究，旨在为绍兴越地文化遗存设计一套可落地的轻量化数字孪生技术路径与商业闭环模型，保留更多的优秀文化基因和时代价值。研究以绍兴古城8大历史街区为对象，将重要遗存节点串联成轻量级数字孪生系统。通过探索保护、传承、产业三位一体的应用策略，以逻辑推演结合仿真实验验证其在提升绍兴越地文化资源设计转化效率、丰富创新表达多样性方面的潜在有效性，也为进一步推进类似地域文化的创造性转化、创新性发展提供借鉴。

1 数字孪生与越地文化保护

1.1 越地文化保护

绍兴越地文化从小黄山文明开始，形成了一条完整的区域文明谱系。虽然有深厚的历史根基，但是在社会层面对绍兴越地文化的了解并不全面，特别是在年轻群体中影响力较低。这为绍兴越地文化的传承与存续问题埋下了隐患。目前，绍兴越地文化活化工作面临一系列的技术难关，其中最主要的技术瓶颈是浅层器物展示到深层次价值转化的问题。绍兴越地文化符号如果一直停留在博物馆静态展陈的形式，则难以建立与现代观众的情感联结。文化并非静态的遗产，需要通过持续的文化再

收稿日期：2025-10-08

基金项目：绍兴市哲学社会科学研究“十四五”规划2025年度重点课题（145565）

作者简介：许瞳（1986—），女，浙江绍兴人，硕士，讲师，研究方向为文化遗产保护与艺术教育；章佳（1983—），男，浙江绍兴人，硕士，网络工程师，研究方向为通信工程与网络工程。

诠释与意义重构来实现代际传递。如何将静态遗产转向动态消费,重塑绍兴越地物质文化空间,展开历史建筑、传统街巷的文化载体修复与功能置换,这需要借助数字技术的支持[3]。

数字人文领域的兴起,促使文化遗产的保护与传播范式发生根本转变。曼诺维奇文化分析法认为文化数据可跨越多个类型和尺度,从一个特定文化架构的细部到一个庞大的文化数据集[4]。通过数据化和可视化与交互设计实现对复杂文化系统的解读,恰好为绍兴越文化从文物算力到文化算力的升级需求提供了契机。当地学者尝试建立越地文化数字资源体系,对文化元素进行本体建模与知识图谱构建。知识图谱在非遗资源的系统化管理、语义关联和多维度展示上体现了显著优势[5]。浙江大学团队也曾以绍兴历史地理信息系统为例,探索了如何将地方文献、考古遗址与地方志史料进行时空叠合,实现文化脉络的动态可视化。这为越地文化的深度数字化叙事提供了技术框架。对于绍兴越地文化的当代传承,亟须构建一个融合数字存证、智慧解析与沉浸传播的三维体系。这不仅是技术层面的升级,更是一场从文化观念到产业模式的系统变革,通过文化算力将越地文明的精神内核,重新编织进浙江当代文化的体系之中,使之在数字时代焕发新的活力。

数字人文领域的上升维度不能止步于单纯可视化的要求。在文化理论层面,活态遗产理论强调文化过程持续再创造;参与式文化要求观众即生产者;集体记忆研究指出记忆需群体交谈才能被激活,数字孪生技术恰好可以执行实时数据闭环、用户生成内容(user-generated content,UGC)反向写入接口与可层叠的时间-语义图谱[6]。在同一技术支撑的情况下同时响应多项理论诉求,从而把“活化”与“社会性传承”两者从理念转译为可工程化的系统功能,完成从文物算力到文化算力的范式跃迁。

1.2　数字孪生五维模型

近年来传统文物保护引入逆向工程、3D-LED交互系统、CAVE系统等,运用虚拟现实技术(virtual reality,VR)技术营造仿真环境成为沉浸式文化旅游的重要展示形式。通过多显面围合立方体空间,让游客沉浸式穿越至文化体验现场,视觉感受与真实的互动体验为游客营造出多感官沉浸体验。VR仿真环境的创设主要借助离线渲染、传感仅触位置、数据零留存的技术保障[7],并不侧重文化深层数据的研究,建筑木构是否受潮、客流如何分布、商业怎样转化等问题仍需借助人工分析。数字孪生技术相对于VR技术更适合文化数据的研究。它将物理、镜像、数据、服务、时间等元素封装为循环演化的五维模型,让历史街区从裸眼沉浸式体验升级为文化数据长存,为绍兴越地文化提供可持续、可计算、可轻量落地的新技术托底。

数字孪生PEMST(物理实体、虚拟模型、数据链路、服务系统和孪生应用)五维模型[8]能把绍兴的城市建筑与文化元素拆成5个并行维度,城市中的一个台门、一块砖雕甚至一场祭祀都将成为其中的一部分。在Physical端,激光点云与薄膜湿度传感器能7×24 h不间断传输数据[8]。在Entity端,BIM(建筑信息模型)+GIS(地理信息系统)把这些点缝合为毫米级三维实体,让建筑木构榫卯、院落石阶苔藓都有独立坐标。在Model端,知识图谱在上述基础上组织语义,把文学作品中的一些关联元素,写成可查询的三元组。Service端再利用WebGL和小程序充当展示窗口,通过游客手机扫描即可调出与文化遗迹相关的信息。最后Time端则成为一条隐形主轴,把所有维度压进时间轴,让系统既能回放昨日建筑节点的全天变化,也能预测景区下周的客流峰值情况。通过数字孪生PEMST五维模型的闭合,绍兴越地文化可以从被动观看的形式变成主动计算的形式,为后续越地其他代表性文化的保护传承提供同一套标准体系的实时数据支撑。

数字孪生具有“感知-建模-映射-反馈”的全周期循环特性,但在实际案例中所述的反馈部分目前仅停留在通过客流数据、营收决策、商业环境指标支持管理方优化运营与叙事内容层面,对遗产本体的监控还未完全接入自动执行器,因而也还未构成物理环境的闭环控制,还需要进一步完善数字孪生循环体系。

1.3　文化数字孪生轻量化架构

常规数字化架构为基础的文化保护方案往往需要配备昂贵的配套设备。对城市架构本已紧凑的历史文化古城而言,不仅投资门槛高,还存在各方面协调的现实问题。绍兴古城的文化孪生轻量化建设,为避开大型机房与头戴式重型设备,需要构建更适合现实情况的越地文化轻量化孪生架构。最底层架构由GIS栅格空间分析与矢量混合框架

构筑市域级城市坐标网络，通过一张底图统一把控全域[9]。把绍兴城区的 8 大历史街区一次性锚定在城市坐标体系中，形成索引框架。该图层只保留必要几何体与属性，数据量＜200 MB，可离线分发至移动端，解决多项目重复测绘、坐标漂移等问题，为后续增量更新提供唯一基准。在 GIS 底座上接入 BIM 单体模型，摒弃大体量的整件思维，采用拆分与装配两级架构，将建筑拆分为小于 30 MB 的轻量构件，保留组团建筑空间中的部件尺寸与材质病害节点。构件库支持 WebGL 流式加载，手机端首次调用＜2 s，后续同源构件可复用缓存，使同类型街区建模时间缩短，节省网络流量。知识图谱作为语义中枢，成为可检索的资源库。Entity 端的 BIM 只解决三维实体的形态，而知识图谱则赋予含义。将人、事、物、俗写入可计算三元组，形成可被检索的关系组[10]。以一条时间线关系即可检索相应场景，实现扩展与可视化。实现随机问答的语义体验，为 AR（增强现实）叠加、NFT（非同质化代币）铸造提供现成语义入口。最上层架构采用 WebGL＋小程序，利用游客携带的手机等智能设备，扫码即可在景观环境中叠加 AR 虫鸟，在体验活动中即刻铸造 NFT。游客在互动活动中拍摄记录木构裂缝并把照片回传的行为，就形成了一次即扫即孪生的闭环。通过数字孪生轻量化架构，文化遗存不再是一次性的场景，而是可不断自我更新、衍生的数字生命体。数字孪生轻量化架构为保护、教育、产业等提供同一套实时数据底座，也让后续批量复制这一模式走向零重型、低成本、快部署的轻量化通道。数字孪生轻量化架构如图 1 所示。

2　绍兴鲁迅故里的文化孪生

2.1　数据采集

为了能在最小成本窗口内获得足够数量的高质量底图，团队压缩户外作业周期展开为期 10 天的快闪扫描。在清晨和黄昏各飞一次无人机，完成鲁迅故里核心区（百草园—三味书屋—周家台门）—带 0.3 km^2 的外围作业。同时利用 15°低太阳角倾斜摄影，正射捕捉台门墀头阴影增强砖雕明暗效果。夜间闭园后，两人手持同步定位与地图构建（simultaneous localization and mapping，SLAM）扫描仪沿 8 字路径各走两圈，5 mm 点云能瞬间勾清榫卯凹槽。其余时间交给云端自动拼图。同步上线小程序引导游客上传老照片、口述语音等信息，市民通过简单操作就能帮助完成拍照、录音与定位的众包任务。市民众包不是简单收集老照片，而是成为情感算料的供给方。拍照、录音、定位的内容将被统一命名、自动拼图，短期内生成 50 G 毫米级底图。系统会将收集素材与尺度不变特征转换（scale-invariant feature transform，SIFT）匹配影像，最后这些情感算料将自动拼成回忆图层。情感算料将情绪数据视为可重复

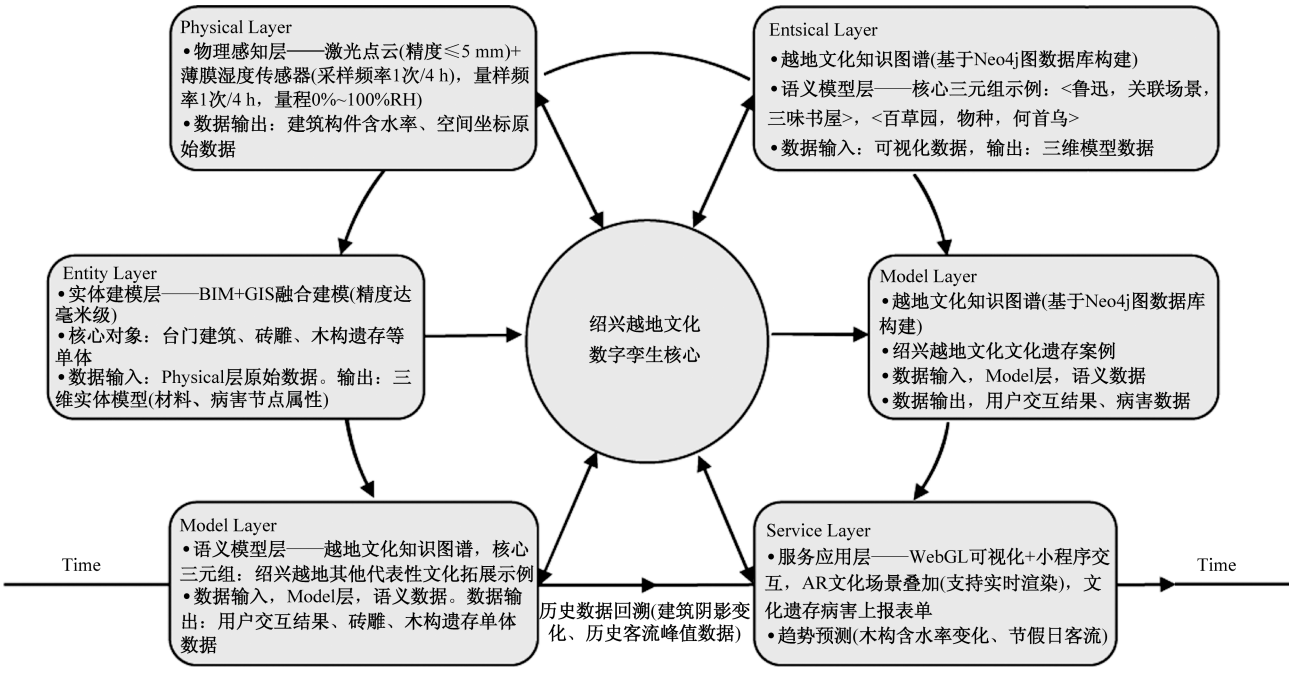


图 1　数字孪生轻量化架构

抽取、可量化、可再创作的文化原材料，这些本身就带有情绪标签的数据可为模型快速打分并且可被不断挖掘、重新混合和货币化，用来丰富数字孪生场景，促进参与度。

这一流程背后与文化理论机制同步作用，活态遗产理论强调了社区持续赋予的意义，每一次上传都是对文化价值的强调。系统把上传频次、情感极性量化为活跃度曲线，使文化体验过程获得可持续计算指标。参与式文化降低了文化参与的门槛，市民 10 min 完成数字化记录上传后即时可见于官方点云，完成从观众到生产者的转换，驱动身份变迁。集体记忆研究认为，记忆需群体交谈才能激活，时间轴滑动让 20 世纪 80 年代的黑白照与当下自拍在毫米级坐标并排呈现，引起群体交谈从而形成集体记忆。老照片下的每条留言、配音、点赞就是一次记忆激活，所有评论层级自动构成评论线程，为知识图谱添加记忆边提供现成接口，使地方认同在对话与再叙事循环中被持续再生产。由此，情感算料不仅拼合图像，更批量生产了共同作者，赋予文化孪生有温度的集体回忆，有效提升本地居民认同感与二次传播率。

2.2　文化颗粒与知识图谱

通过快闪扫描的形式只能解决形体的复制，真正的文化孪生却是要让事件与情感在历史街区内再现。后续要将越地文化要素拆分为 7 类可计算颗粒：建筑、文物、非遗、人物、事件、影像、社交媒体，并为每一条数据标注统一编号，确保每一条数据之间的关系都能被机器读懂，进而被图谱关联。为不让项目被过度细分化拖垮，进一步轻量化绍兴越地文化核心本体，仅保留 4 组顶层本体：实体、事件、人物、非遗，再精选 12 条最常用的关系线，如空间坐标，时间节点，人物或组织，关联文学、书画或影像，砖、木、石等材质，风格、纹样、功能类比等。这些关系线足够串起“鲁迅-三味书屋-刻早”这类经典三元组，避免了系统臃肿。所有信息汇入 Neo4j 图数据库后，后续只需 0.2 s 即可完成“百草园-何首乌-美女蛇-闰土父亲”的跳转查询。人物、药材、故事情节能瞬间呈现给游客。前端用 Vue＋ECharts 画出知识星图，节点越大出现次数越多，连线越粗关系越紧密。手机滑动就能点进照片、原文和口述音频，一眼看懂文本与实物的层层关联。街区内的每一个节点都拥有语义接口，点击照片中的景观就可以知道它曾出现在哪篇文学作品中，而点击人物也可以跳转呈现其全部活动轨迹。知识图谱不仅给 AR 叠加、NFT 铸造提供了现成的语义入口，更让游客在星图里自由探索，把被动参观变成主动发现，活化游览体验。

2.3　轻应用原型设计

完成图谱入库后，团队将上线鲁镇虫鸟相关支付宝小程序。游客步入百草园，通过手机对准园墙即可调用 Web-AR 接口获得视文件，3D 桑椹悬垂、何首乌藤蔓和油蛉声场循环播放等，声场文件更会按季节切换春噪版与夏噪版，可以体现鲁迅笔下的“自然闹钟”的场景。预计扫码率可达 25%，停留时长超过 5 min，这为后续 NFT 导流奠定人流基础。三味书屋入口布设触控屏，游客可手写“早”字，系统笔顺比对无误立刻铸造唯一 NFT 印章(图 2)，并支持支付宝链上查看。所得营收将与周边产品联动发券，实现内容与消费的闭环。另外消费者在微博、抖音、小红书等流量平台的分享，可以赢得积分换取盲盒，促进文化周边产业的发展。两款轻应用均留有回忆上传入口：游客当场传合影或语音，系统用 SIFT 匹配现状点云，匹配度大于 85%的照片立即被写进知识图谱并生成时间轴，切换黑白旧照

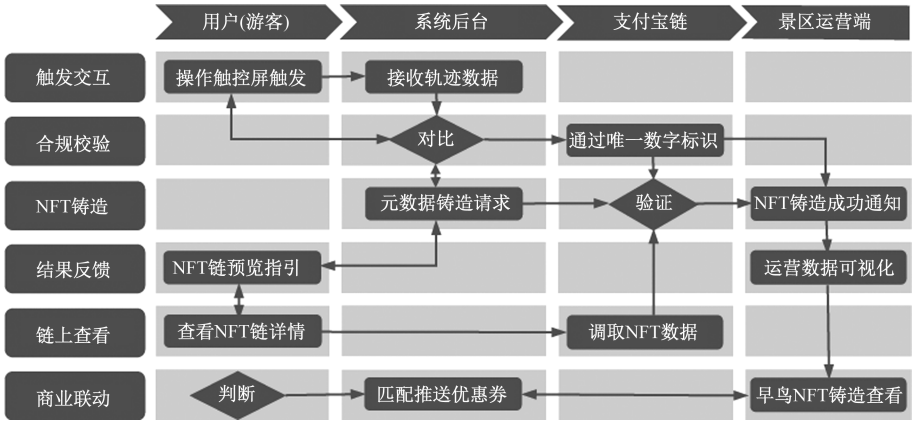


图 2　“早”字 NFT 铸造与链上查看流程

与今日彩图形成集体回忆。游客可兑换相应碳积分，凭积分在景区出口兑换周边数字藏品以及环保商品。回忆上传与绿色积分捆绑，同时体现文化记忆与碳减排的设计意图。借由AR景物叠加、NFT印章、回忆上传、碳积分4步实现闭环，经应用把走马观花的游览提升为深度的文化体验，实现了人流停留、情感记忆与商业转化的同步跃升。

2.4 成效推演与评估

为验证文化孪生的实际效果，后续采用仿真、问卷和财务提前进行三重虚拟演练。用软件模拟节假日客流，比较叠加AR和NFT前后客流数据，将高密度热点减少至3处，人均拍照排队时间降到1 min以内，可以有效解决人群拥堵、排队时长的问题，景区空间协调更加合理。NFT印章和周边商业的配合，增加了商业热度，有利于成本回收与盈利。随机电子问卷也显示，核心地点百草园到周家台门的正确率有望得到一定提升，文化孪生轻量化体验使游客对鲁迅童年地点的记忆更准确，AR后游客对“何首乌”“油蛉”关键词注视时长增加，进一步提升了自媒体的分享率。技术包装并未稀释文化内核，反而提升了注意力。技术的加入实现了人流、商业与认知的三赢。

3 创新策略输出

3.1 节点预警

文物保存状况从年报变成日报，不应只是鲁迅故里的特例。绍兴古城内八字桥、书圣故里、青藤书屋等节点密布木构、砖石与台门等设施同样适用。提出一套即时使用的交通灯预警包，在任何景区只需在关键节点（屋檩、斗拱、柱脚）贴上一张厚度不足0.2 mm的薄膜湿度传感器，无须钻孔、不破坏旧漆，就能随时观测文物状况。传感器每4 h把含水率送到云端，平台调用通用阈值算法，自动返回红、黄、绿3色状态：绿灯提示可以照常开放；黄灯提示需要进行月度保养；红灯在立刻通知后生成可转派的维修工单。整套系统部署在函数计算上，无服务器、无机房，3年电池寿命到期直接撕下换新，实现零门槛、零排放的技术支持。通过这套预警模板各街区可实现事前调养，减少维护成本，让整座绍兴古城在看不见的数据层面完成自我体检与自我修复。

3.2 传承方式

在推行教育“双减”与核心素养培养双向驱动的背景下，研学已从走马观花升级为中小学的必修科目之一。绍兴古城文化研学亟须一套不用人工踩点、随时可复制的标准化方案。为此，形成越地研学生成器是一种高效的技术方式。教师只需在系统中输入年级、课时与素养目标，系统即可规划弹性路线，包含讲解点、互动任务、评估方式与安全提示，并自动输出教师版可移植文件格式（portable document format，PDF）和学生版任务卡，下载即用省去了二次备课的过程。知识图谱的拼成使研学不必再靠人工拼景点，学生达到预定参观位置后可以即插即用。整套模板预计可以丰富绍兴市内的文化教育资源，并覆盖语文、历史、美术、信息等学科，促进交叉学科教学形式的展开，为绍兴以及周边越地文化遗存提供图谱驱动、校本定制再到证据回传的通用传承方案。

3.3 数字产业

对于绍兴数字文化产业的发展，数字藏品、AR互动与联动优惠不应止步于单点试验，而应成为历史街区共性政策工具。①梳理文化数字资产，建立官方标准的准入清单。越地文化的非遗元素、名人故事、建筑纹样等在经过审核后分批上线，这既可以保证版权清晰同时也可以为公共财政开辟可持续的数字文化税来源。②推行绍兴文化数字护照，在市域层面推广集章活动，游客以此可兑换游船、黄酒、书法等兑换券，引导游客步行或骑行至周边街区体验不同的业态，延长停留时间，带动住宿与夜间经济，释放消费增量。③设立数据反哺机制，B端运营方将旅游综合数据通过标准应用程序接口（application programming interface，API）回流市级文化大数据平台，形成市域的母图谱，避免信息孤立滞后，可以为后续文旅产业发展提供二次创作土壤。④将市民共创纳入公共文化政策，鼓励市民分享、投票、上传老照片等行为，可兑换积分换取相应激励性优惠，促进舆论参与度。通过准入清单、数字护照、数据反哺、绿色账本、市民共创5层制度设计，可以实现一次性门票经济向可循环数字文化生态的过渡。

3.4 评估体系

依托数字孪生技术构建的轻量化架构，可以促进形成绍兴文旅行业的统一评估标尺。这套行业标尺能够真正让绍兴古城8大历史街区呈现自身的文化价值与特色。构建该评估体系需要先满足文化景观可观赏的要求。明确人流与游客的行为指标，在全市范围内推动共用Wi-Fi探针和AI计数模

板,实时输出游客驻留,游览动线,热力图,城市拥堵早预警,提前优化游览路线分配;无须新增硬件即可普遍提升景区的瞬时容量,同时验证 AR＋NFT 对游线的再分配作用。另外,采用认知问卷与情感温度相关的量表,了解游客对景区趣味性与文化深度两项的评分,关注技术包装对文化内核稀释情况。上述获得的数据可回传市域文旅大数据中心,横向比较各街区文化传达效果,为评星评级提供客观依据。此外,市文化数字资产交易平台还将统一设定版税上限与碳积分规则,景区可上架数字藏品、AR 护照或联动券,成交数据实时可视化,为政府监测文化消费占比提供统一标准。以上评估方式最终将保障长效的绍兴越地代表性文化保护传承的体系化发展。

4　结论与展望

数字孪生技术的引入改变了绍兴越地文化传承发展中面临的困境。跳出传统的保护方式,实现了感知到反馈全周期闭环,将绍兴古城的代表性文化拆解为可计算、可演化、可商用的文化颗粒,为类似历史文化遗存提供了一套科学快速、成本低廉的数字化公共模板。绍兴鲁迅故里历史文化街区通过快闪扫描完成核心区毫米级数据采集,节点病害交通灯可以实现遗存动态保护,弹性研学生成器推动传承模式升级,数字藏品与 AR 联动打通商业转化链路。这些探索不仅勾勒出保护在线、传承定制、产业循环的轻量化路径,更形成了行业通则,为同类型历史街区提供了清晰的技术参照。这套数字化模板的可行性与价值在绍兴越地文化遗存的研究理论和仿真推演中显示出较大潜力。但鉴于尚未开展大规模、长周期的现场对照实验,上述潜力的量化效益有待后续测试与运营数据进一步确认。

面向未来,要让数字孪生真正成为文化遗产的长效支撑,仍需在标准、机制、人才 3 个关键维度持续深化。①推动技术标准的制度化落地,将传感器接口协议、文化知识图谱本体规范、数字资产碳积分规则等核心技术参数,纳入省市级历史街区建设导则,构建跨区域互认的数据基础,为文化孪生的规模化推广扫清障碍;②完善文化数字资产的运营机制,明确非遗元素、建筑纹样、名人故事等资源的版权边界,同步设立公共版税池,让数字藏品交易、AR 内容授权等收益反哺文化保护,形成良性循环,避免文化资源沦为短期商业噱头;③构建专业人才培养体系,将技术人员纳入常态化编制,破解因人才流动形成的团队停摆,确保数字孪生系统的长期迭代与活力。当绍兴古城的木构建筑能通过知识图谱衍生出新的文化内容时,城市文化便不再是博物馆里的静态展品,而升级为可自我生长、自我更新的数字生命体。越地文化的设计推演表明,数字孪生的轻量化绝非对文化深度的简化,而是让文化遗产在新时代算力中持续增值。可复制性不是对地域特色的重复,而是为历史文化保护提供统一技术框架的同时,实现同频共振。绍兴历史街区的数字孪生探索,为国内文化遗产的创造性转化、创新性发展提供了一条可研究的技术方向。它证明文化保护与产业发展无须对立,技术创新与文化传承可以共生。随着标准、机制、人才体系的不断完善,更多历史文化遗产在数字技术的赋能下,既能守住历史根脉,又将实现新生。

参考文献

[1] 伍成杰,罗广. 数字化展陈中可交互知识图谱的构建[J]. 艺术工作,2025(3):125-132.

[2] 世界互联网大会秘书处. 世界文化遗产数字化保护案例集(2025)[R/OL]. (2025-09-17)[2025-09-18]. https://cn. wicinternet. org/2025-09/17/content _ 38277563. htm.

[3] 喻晓社,白丹. 空间生产视角下传统村落文化助力乡村振兴的实践路径:基于江西省 X 县 S 村的案例分析[J]. 江西财经大学学报,2025(8):1-13.

[4] HO M T, VU T H T. Cultural analytics amid the rise of generative AI: critical insights for human-AI cocreative cultural studies[J]. AI & SOCIETY, 2025(7): 1-4.

[5] 李小波,马珍弟,田中娟,等. 浙江非物质文化遗产知识图谱构建与应用[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2025(4):1-11.

[6] 赵敏,李鹏,陈长春,等. 基于 TSL 模型构建的活态遗产地连续性空间生产研究:以丽江古城为例[J]. 热带地理,2022,42(1):67-77.

[7] HE S, SUN W, LAN C Q. Design and exploration of virtual multi-scene learning space based on XR technology [C]// ICDEL'24 Proceedings of the 2024 9th International Conference on Distance Education and Learning. Guangzhou: Association for Computing, 2024: 223-228.

[8] 中国互联网协会. 数字孪生城市技术应用典型实践案例汇编[R]. 北京:中国日报网,2024.

[9] 李铖. 城市建设系统视角下城市更新多维度时空分布特征研究[D]. 重庆:重庆大学,2023.

[10] 陈诚. 三维激光扫描技术在历史建筑装饰修复测绘中的应用研究[J]. 中国建筑装饰装修,2025(16):101-103.

Construction and Application of a Lightweight Digital Twin Architecture for Cultural Heritage of Shaoxing Yue Region

XU Tong, ZHANG Jia

(Shangyu Branch, Shaoxing University, Shaoxing 312300, China)

Abstract: Digital twin technology offers innovative approaches to preserving traditional historical and cultural heritage, validating the feasibility of constructing lightweight architectures and applications for Shaoxing Yue culture at the methodological level. Through the integration of lightweight sensor networks, knowledge graphs, and mobile AR/NFT (augmented reality/non-fungible token) technologies, the digital preservation initiative for Shaoxing Yue Culture has achieved a closed-loop design. This design enables real-time monitoring, flexible research, and digital consumption without requiring heavy equipment. This approach unifies conservation, heritage transmission, and industrial transformation into a single data-driven sustainable ecosystem. The resulting new evaluation framework provides replicable, measurable industry templates for similar historical and cultural heritage sites, accelerating the transition of traditional culture from static display to self-renewing digital forms.

Keywords: digital twin; cross-regional culture; historic districts; lightweight; conservation strategies