

数字孪生驱动在大汶河流域非遗的文化记忆重构研究

张凯悦

山东财经大学东方学院, 山东 泰安 271000

DOI:10.61369/ETI.2025070005

摘要：以大汶河流域为研究对象探讨数字孪生技术在非物质文化遗产保护与文化记忆重构中的创新应用。借助三维建模、虚拟现实、语义网络等技术，构建“空间载体—实践行为—符号系统”三位一体的数字重构模型，实现非遗技艺的数字化再现与文化记忆的沉浸式传达。通过分析大汶河流域非遗资源现状，提取地域记忆、考古与传说、农业生态等要素，重塑文化记忆的深层结构。在实践层面，推动博物馆展陈、民俗活动、师徒传承的数字转型，并与文旅产业协同发展，打造元宇宙文旅场景、智慧导览系统与非遗文创产品，构建“保护—传承—转化”一体化生态。

关键词：数字孪生；大汶河；非物质文化遗产；文化记忆重构

Research on the Reconstruction of Cultural Memory of Intangible Cultural Heritage in the Dawen River Basin Driven by Digital Twins

Zhang Kaiyue

Oriental College, Shandong University of Finance and Economics, Tai'an, Shandong 271000

Abstract： This study explores the innovative application of digital twin technology in the protection of intangible cultural heritage and the reconstruction of cultural memory, focusing on the Dawen River Basin. With the help of technologies such as 3D modeling, virtual reality, and semantic networks, a trinity digital reconstruction model of "spatial carrier – practical behavior – symbol system" is constructed to achieve digital reproduction of intangible cultural heritage skills and immersive communication of cultural memory. By analyzing the current situation of intangible cultural heritage resources in the Dawen River Basin, elements such as regional memory, archaeology and legends, and agricultural ecology are extracted to reshape the deep structure of cultural memory. At the practical level, it promotes the digital transformation of museum exhibitions, folk activities, and apprenticeship inheritance, and develops synergistically with the cultural tourism industry to create metaverse cultural tourism scenes, smart navigation systems, and intangible cultural heritage creative products, building an integrated ecology of "protection – inheritance – transformation".

Keywords： digital twin; Dawen River; intangible cultural heritage; cultural memory reconstruction

引言

非物质文化遗产是民族文化认同的重要基础，承载着历史记忆、传统技艺与社会实践，对维护文化多样性和延续集体身份具有重要意义。然而，非遗正面临“时空脱域”^[1]与承载媒介消失的双重困境。作为前沿信息技术，数字孪生通过构建现实对象的虚拟镜像系统，融合三维建模、语义网络、VR/AR等手段，不仅实现了非遗空间与技艺流程的数字还原，也为文化记忆的多模态传播与沉浸式体验提供了新路径。

本研究以阿斯曼^[2]（Assmann,2015）的文化记忆理论为理论根基，融合列斐伏尔^[3]（Lefebvre,2021）的空间生产视角，提出“空间载体—实践行为—符号系统”三位一体的数字重构模型，强调文化记忆在数字孪生系统中通过三重转译路径得以再生产：即物理空间的数字化（spatialdigitization）、身体实践的数据化（embodieddatafication）与文化符号的语义化（symbolicsemanticization）^[4]。在此框架下，数字孪生被视为中介化文化载体，不仅重构了非遗文化的存在形态，也扩展了其传承逻辑与叙事方式。

一、数字孪生下大汶河流域非遗技艺与文化记忆的现状与分析研究

（一）大汶河流域非遗技艺普查与分析

大汶河流域非物质文化遗产资源丰富，涵盖制陶、编织、糖画、曲艺、节庆等多个门类。通过普查梳理，形成包括莱芜锡雕、泰山皮影戏、大汶口花边伞、东路大鼓等在内的代表性非遗技艺清单。非遗项目依托汶水文明生态体系，形成传统手工艺、表演艺术与民俗活动三大体系。多项非遗正面临传承断层、材料缺乏、市场萎缩等挑战，泰山皮影戏因技艺复杂、传承人断代面临濒危；东路大鼓因受众减少需创新传播模式。

国家级项目莱芜锡雕以精锡为材、融合拉焊与雕刻，代表作《仙鹤烛台》在“以工代训”中传承；泰山皮影以“十不闲”绝技，借助VR实现数字教学。省级项目泰山女儿茶制作技艺以“半烘半炒”展现茶文化底蕴，安丘扒绣和独杆跷则体现地方技艺风貌。在表演艺术中，泰山皮影戏、东路大鼓、莱芜梆子等依托剧目与方言特征承载历史记忆。泰山庙会和大汶口祭祀大典的民俗活动构成节庆礼仪与技艺展演交织的文化载体。

（二）大汶河文化记忆要素的提取与分析

1. 地域文化记忆结构解析

大汶河流域明代治水官员与清代文人历史人物与地方知识谱系，借由治水史与诗文记载，构建了汶河流域生态智慧与文化精神的历史记忆层。生态适应与地域风俗如汶河渔猎、沿河作物制作节令食品、传统服饰中的水纹纹样，以及夯土建筑反映的避水智慧，展现出“人一水一技艺”的耦合关系。文化展演与社区传承，庙会、社火、纸扎等构成节庆再生产维系非遗在地性与活态传承机制。

2. 传说与考古的互证关系

考古发现与民间传说在时空、物质文化与社会结构层面形成互证。传说中的部落首领与大汶口遗址出土的贵族墓葬、玉器礼器相互印证，揭示早期农业与等级制度的演进过程。治水神话与新石器聚落的选址临水高地表现出先民的水文智慧。陶器与农具等遗存对应手工业起源与农业生产传说，形成对工艺演进的文化叙事补充。刻画符号与神灵故事印证原始宗教信仰，墓葬制度则与祖先崇拜观念契合。陶器纹饰与其他流域文化的共性反映区域交流，印证“文人游历”与“部族通商”的口头历史记忆。

3. 代表性传统技艺与农业生态记忆

水浒版画通过版刻、水墨与叙事构建“英雄文化”图像体系，成为水浒文化的可视化传播形态；砖雕技艺体现了地方建筑艺术的象征性与历史性价值，是古代美术与社会价值观的集中体现。汶阳田农作系统体现传统生态智慧，通过套种、自流灌溉、肥力循环等技术，展现出大汶河流域可持续农业形态。

二、大汶河文化记忆重构与传统保护方式的融合研究

（一）博物馆展陈体系从“物的展示”到“记忆叙事”的跨越

文物本体的全要素数字化运用三维激光扫描与多光谱摄影测量技术，对大汶口遗址出土的黑陶、骨牙器等核心文物进行毫米级建模，构建包含几何数据、材质成分、工艺痕迹的数字孪生档

案。通过虚拟博物馆平台实现文物的永久性存档与全球化传播，解决传统展陈中“文物易损、展示受限”的痛点。

记忆场景的沉浸式复现大汶河先民制陶场景。陶窑壁面的草木灰颗粒、拉坯时陶泥的应力形变、窑火光谱的动态变化，均通过物理引擎实现真实感渲染。观众通过VR设备进入“新石器时代工坊”，可观察工匠使用鹿角刮片修饰陶坯的微观动作，并触发AR标注解析工艺原理，使静态文物转化为可感知、可交互的记忆载体。

叙事逻辑的多模态创新突破传统展陈的线性叙事，采用“知识图谱+用户行为驱动”的非线性叙事框架。观众在虚拟展厅点击黑陶展品时，系统通过Neo4j图数据库关联其文化基因、工艺谱系、社会语境，生成个性化叙事路径。配合空间音频技术同步播放考古学家对器物功能的学术解读与传承人的工艺口述，实现“学术严谨性与传播趣味性”的平衡。

（二）民俗活动的从“地域限定”到“全民参与”的拓展

大汶河流域民俗活动的传统传播模式呈现地域性与即时性特征。仪式空间的数字化存档运用无人机测绘与惯性动作捕捉系统，对泰山庙会“泰山奶奶巡游”仪式进行全流程记录。基于清光绪《泰安县志》文本挖掘巡游路线的空间叙事逻辑、执事人员的服饰纹样、仪轨动作的力学特征，均通过多源数据融合形成“仪式数字孪生体”。该模型不仅用于历史存档，还可模拟不同历史时期的仪式演变，为民俗学研究提供量化分析基础。

线上参与的沉浸式设计。开发“数字庙会”元宇宙平台，用户通过虚拟化身参与三项核心体验。其一、仪式复刻。依据1930年历史影像重建巡游场景，用户可跟随虚拟队列行进，触发“撒福米”“挂平安锁”等交互动作，系统根据地方志记载的礼仪规范实时反馈操作正误；其二、技艺体验。在虚拟工坊中使用力反馈手套模拟制作编织“吉祥结”、绘制“灶王像”庙会手工艺品；其三、文化创造。利用参数化设计工具改造传统纹样，生成的数字藏品可通过区块链确权并兑换线下文创，实现传统符号到现代设计到经济价值的转化闭环。

社区记忆的参与式生产，邀请社区居民上传家族保存的老照片、口述录音、仪式用具等UGC内容。大汶口镇居民通过平台提交的清代庙会灯笼制作技艺，经AI图像修复与动作捕捉技术还原后，成为虚拟庙会的标准元素之一，形成“官方记录—民间记忆—技术重构”的多元叙事体系。

（三）师徒传承体系从“口传心授”到“智能辅助”的进化

传统师徒传承依赖“师傅示范—徒弟模仿”的线性模式，数字孪生技术通过“虚拟传承人—动作解析—智能评估”的技术链，破解“人亡技失”与“培养周期长”的难题。

其一、虚拟传承人的知识建模。对泰山皮影传承人范正安的“十不闲”绝技进行全流程记录，建立包含1200+关键帧的动作数据库。结合LSTM神经网络解析其肌肉发力模式与工具操作轨迹，生成具备实时交互能力的虚拟传承人形象。该模型可根据学习者的操作误差自动调整示范速度，并触发语音提示实现“个性化教学—精准纠错”的智能辅导。其二、在线教育平台的生态构建。整合数字孪生模型、高清教学视频、工艺知识库，搭建“大汶河非遗传承云平台”。平台采用“金字塔”式课程体系，初级用户通过VR动画学习技艺原理，中级用户在虚拟工坊进行动作训练，高级用户可调试工艺参数。系统通过眼动追踪与肌电监测生

成包含“技能短板—改进建议”的个性化报告。其三、实体工坊的虚实协同。在莱芜锡雕工坊部署“混合现实教学系统”，师傅通过 MR 设备实时标注学徒操作中的问题，虚拟传承人同步在工位全息屏演示标准流程。“真人指导—虚拟示范—物理实操”的协同模式保留了师徒间“手把手教学”的情感联结与经验传递。

三、大汶河文化记忆重构与文化产业的协同发展

（一）非遗主题数字文旅产品

数字孪生技术通过“场景复刻—交互设计—流量转化”的技术链，重塑大汶河文化旅游的产业形态，实现地域文化资源与现代体验经济的深度融合。

元宇宙文旅场景的多维建构。基于大汶河流域明清古村落的测绘数据构建时空折叠古镇、非遗工坊矩阵、民俗活动元宇宙三大核心场景。时空折叠古镇复现明代“依水而建、因窑成市”的聚落格局，通过动态天气系统模拟四季气候变化，游客可通过 VR 设备参与“宋代陶工一日”的角色扮演，体验从采泥到烧窑的完整流程，触发“釉料配方解密”等剧情任务。非遗工坊矩阵对泰安岱庙木雕工坊、大汶口黑陶作坊进行数字孪生，游客使用力反馈手套操作虚拟工具，系统根据动作精度实时生成“技艺熟练度评分”，达标者可兑换线下工坊体验券。民俗活动元宇宙还原泰山庙会“爬桥求子”“放河灯”等仪式，游客通过区块链铸造个性化数字河灯，虚拟灯盏沿汶河数字水系漂流，形成“线上参与—线下引流—文化消费”的闭环。

智慧旅游系统的技术赋能。开发汶河智能导览系统，集成三大核心功能。AR 场景叠加，游客扫描景区文物即可触发“分层解剖”功能，观察黑陶胎体的微孔结构、解析鲁绣纹样的“齐鲁色谱”构成。基于游客的年龄、兴趣标签进行个性化路线规划，动态推荐体验路径，为青少年设计“黑陶拉坯游戏闯关”路线，为学者提供“考古地层学虚拟勘探”模块；导览系统内置商城，游客可购买动态版大汶口文创品、预订非遗主题民宿。

（二）文创衍生品开发

数字孪生技术与文化产业的协同发展，为大汶河非遗技艺的保护传承提供了经济支持和动力源泉，实现了非遗技艺的创造性转化和创新性发展。数字孪生技术通过“文化基因解码—参数化设计—柔性化生产”的创新流程，推动大汶河非遗元素从传统符号向现代商品的系统性转化。

文创产品的智能化生产，搭建“非遗+”柔性化生产平台，实现“设计—打样—量产”的全链条数字化。构建“非遗+3D 打印”柔性化生产平台，通过路径规划算法将数字模型转化为增材制造的打印路径。以木雕生产为例，利用 3D 打印技术快速生成木雕坯体，再由工匠进行细节雕琢，将传统工艺的温度与现代制造的精度完美结合。消费者通过线上工具自主组合传统纹样，系统自动生成服饰、家居用品的 3D 模型。

以大汶河文化为核心构建跨媒介 IP 矩阵，通过数字孪生技术实现 IP 形象在不同媒介中的连贯呈现。开发东平木雕主题的手机游戏，利用动作捕捉技术记录木雕艺人的雕刻动作，转化为游戏内的操作机制；同时制作同名动画系列，在动画场景中嵌入虚拟博物馆链接，实现用户在不同文化体验场景间的无缝切换。建立基于智能合约的 IP 授权平台，根据文创产品的销售数据自动执行版权分成。以数字孪生模型为基础，打造“大汶河”超级文化 IP。核心 IP 形象基于大汶口遗址出土的陶塑神像，设计卡通形象其服饰纹样、动作设计均来源于真实非遗技艺。跨界联名产品推出搭载鲁绣纹样的智能音箱、融入黑陶元素等，触达年轻消费群体。

四、结论

本研究聚焦于数字孪生技术在大汶河流域非遗保护与文化记忆重构中的应用。在文化记忆重构方面，实现博物馆展陈体系从“物的展示”到“记忆叙事”的跨越，让文物成为可感知、可交互的载体；推动民俗活动从“地域限定”到“全民参与”拓展，通过多种数字化方式增强大众参与度；促使师徒传承体系从“口传心授”到“智能辅助”进化，提高传承效率与精准度。同时，文化记忆重构与文化产业协同发展，开发非遗主题数字文旅产品，打造多元文旅场景与智慧旅游系统；推动文创衍生品开发，实现非遗元素的创造性转化。综上，数字孪生技术为大汶河流域非遗保护开辟新路径，助力文化记忆的传承与重构，推动文化产业的繁荣发展。

参考文献

- [1]于涓.“脱域”的“再嵌入”：短视频平台赋权非遗传播——以抖音为例[J].电视研究,2022,(05):74-76.
- [2](德)扬·阿斯曼(Jan Assmann).文化记忆[M].北京大学出版社,2015.15-18.
- [3](法)亨利·列斐伏尔.空间的生产[M].商务印书馆,2021.10-12.
- [4]丁波,方叶林.数字赋能乡村空间变迁的数字化治理转型[J].经济地理,2024,44(06):175-182.