

虚实界面中的交通文化展演——元宇宙展馆四维叙事设计研究

李汤超 宁书家* 吴凡 李梓源

上海工程技术大学 国际创意设计学院 上海 201620

摘要：本研究立足于“交通强国”战略与元宇宙技术融合趋势，以数字孪生、生成式AI和多模态交互为支撑，提出“时空映射-动态交互-认知深化”的三层展演模型，并构建四维叙事设计框架，应用于交通文化元宇宙展馆的界面交互与内容呈现。通过对典型案例（如国产大飞机引擎数字孪生系统、航空引擎历史技术对比展演）的深入剖析，研究交通文化遗产的数字化传播与元宇宙展馆设计提供了系统化方法，并就技术伦理、结构优化与跨平台互联提出了应对策略。

关键词：虚实界面；交通文化；元宇宙展馆；四维叙事设计

1 研究背景

近年来，随着5G、人工智能与虚拟现实等前沿技术的快速发展，“元宇宙”这一概念从科幻构想逐步演化为现实应用场景，在文化展演领域凭借沉浸式体验、多维交互和内容可持续演化等优势，为传统文化遗产的传播提供了前所未有的创新路径。与此同时，“交通强国”战略的深入实施，使交通文化这一国家软实力的重要组成部分迫切需要新型数字传播模式。为此，本文以元宇宙技术为支撑，融合数字孪生、生成式AI与多模态交互，提出“时空映射-动态交互-认知深化”三层展演模型，并通过典型案例与用户行为数据验证其有效性，构建了四维叙事框架，以显著提升公众的技术认知与文化认同。

研究发现，虚实融合展演模式可使知识留存率提升81%，情感共鸣度达4.8/5，真正实现了沉浸与教育的最佳平衡。在动态时空复现方面，中国交通文化数字化依托国家交通遗产数据库与实时物联系统两大本土化数据源，前者整合全国78处交通文物保护单位的三维扫描模型（精度可达0.05mm），后者接入高铁调度指挥中心数据流，每15分钟更新“八纵八横”路网运力状态，确保展馆内容始终反映现实动态^[1]。针对航空动力技术的高复杂度展示，本研究还创新性地提出两大场景构建方案：一是利用工业CT扫描长江-1000A发动机涡轮叶片，并结

作者简介：李汤超，男，汉族，上海市人，本科在读，研究方向：视觉传达设计。

项目：2024年上海工程技术大学大学生创业训练项目。

项目编号：202410856y24

合计算流体力学仿真，生成可交互的气动热力场模型；二是基于MR技术还原沈阳黎明航发数字化车间，使用户能够在虚拟环境中亲自参与钛合金叶盘榫槽配合公差调整等装配任务，获得身临其境的工艺体验。

至于四维叙事如何在沉浸与教育之间寻找最佳用户体验结构，本文通过设计信息层次划分、可视化路径引导与个性化推荐策略，避免用户在多时空叠加中信息过载或逻辑断裂，并通过“任务背景设置”“角色代入”与“情境式线索”三种手段，引导用户从被动观看走向主动探索与情感共鸣，从而在虚拟场馆中实现对交通文化遗产的多维认知深化。此深入探讨不仅丰富了元宇宙展馆的叙事维度，也为未来数字化文化遗产传播提供了可复制的范式与实践指南^[2]。

2 元宇宙展馆设计理论

元宇宙展馆的核心特征体现在三大维度：沉浸性、交互性与可持续性经济系统。所谓沉浸性，指通过VR/AR/MR等技术手段实现的高保真视觉呈现与情境还原，将观众完整包裹在历史构建的空间之中，使他们宛如置身实景；交互性则强调用户在虚拟场景中拥有自由选择路径的权利，既可触发预设事件，也可参与展览内容的实时演化，甚至根据行为反馈与系统产生双向驱动；可持续性经济系统则确保展馆平台在技术更新与内容迭代上拥有稳定支持，通过代币激励、数字资产交易和版权分成等机制，维持长期运营与内容更新的动力。

作为连接物理与数字世界的关键环节，虚实界面设计主张多模态感官融合，不仅包括视觉、听觉与触觉的深度结合，还引入动作反馈与语音识别等交互方式，使用户可通过眼动或手势操控界面，通过语音指令解锁历

史场景与多媒体资料，从而让文化互动更加直观与参与性更强。

在叙事结构上，元宇宙展馆摒弃了传统线性展陈的单向叙事，转而采用四维叙事范式，其一是时间轴重构，通过将关键技术演进（如飞机引擎从活塞式到涡扇式的百年变迁）以可视化热力学模拟形式呈现，并允许用户实时调整参数观察推力变化；其二是数据流整合，将物联网实时数据（如全国高铁调度系统的动态负载）同步引入展馆，使数字内容与实体交通系统保持一致更新；其三是“以用户为中心”的策展逻辑，用户可自主探索、跳转节点、重复体验不同路径，以增强能动性和记忆效率；其四是多模态表达融合，利用3D建模与历史地图构建视觉信息层，结合环境音效与声景营造沉浸氛围，辅以字幕与注解的文本说明，帮助形成多维认知。

在此基础上，交互设计还可根据用户身份与兴趣提供个性化推荐：为学者开放深度档案链接，为家庭游客设计故事化导览线路，为儿童提供小游戏式引导，以全面提升文化展演的整体体验质量和教育价值^[3]。

3 构建交通文化的深度认知

在元宇宙展馆中，交通文化的数字复现依赖于对多源异构数据的高效整合，这些数据涵盖历史地图、考古资料、文物图像与文献文本等，因其时间维度、语义描述与精度标准各异，需要借助坐标转换、语义匹配等数据融合算法加以统一管理，并在动态场景生成时妥善平衡“还原与再造”的关系：即在严格尊重历史真实性的前提下，针对史料空白进行合理虚构，同时通过可信度标注与溯源机制避免观众误读。在此过程中，技术伦理问题亦不可忽视——对于未获考证的虚构场景，是否应设立“史实标签”或开启审核机制，以维护文化呈现的学术严谨性和公众信任是个问题。

此外，非线性叙事虽为用户带来探索自由，但也可能破坏因果链条，尤其在交通文化中，诸如商道衰落与政权更替、自然灾害之间存在紧密逻辑关系，一旦观众随意跳转或重复触发路径，易产生历史理解断裂；时空叠加层层展示不同时期的港口或路线结构，虽然形式新颖，却有可能因信息密度过高引发认知过载，需通过信息层级划分、时间轴压缩、图层切换等设计策略加以调控，以防用户在“信息迷宫”中迷失。

所以为实现从视觉“观看”到文化“理解”的过渡，展馆必须在视觉冲击之外增强内容引导——比如设置情境式线索：在用户进入虚拟驿站前，通过“任务背景”引入时代背景；在体验虚拟马车运输时，通过“历史对话”展示沿途人物遭遇；在模拟长途运输环节植入

“角色代入”任务，让用户以探险者身份沉浸其中，从而构建情感桥梁，真正将用户的参与体验上升为对交通文化遗产的深层共鸣。

4 案例分析与模式验证

国产大飞机引擎数字孪生系统和航空引擎历史技术对比展演构成了本研究的正向案例。中国航发商发基于CJ-1000A发动机构建的“数字孪生引擎库”通过整合实时传感器数据与历史测试记录，让用户可借助VR设备“进入”引擎燃烧室，观察3D打印燃油喷嘴的雾化过程，并与英国罗罗 Trent XWB 引擎的涵道比（11 vs 9.3）进行实时比对；该系统在高原、高湿等极端环境模拟中的数据误差率控制在0.5%以内，并支持用户参与虚拟故障诊断（如叶片微裂纹扩展预测），显著提升公众对国产航空技术的认知深度。北航虚拟实验室开发的“百年引擎进化”项目则通过MR技术并置呈现1958年红旗2号涡喷发动机、2025年CJ-2000宽体客机引擎以及AI生成的超燃冲压引擎概念模型，用户不仅可模拟装配活塞与涡轮组件、实时接入试车台数据展示推力矢量控制技术，还可调整燃烧室参数观察推重比变化；该项目以“历史-现实-未来”三维叙事，使青少年用户对航空技术的兴趣度提升了78%^[4]。

在技术实现层面，本研究在模拟实验中引入用户行为日志记录系统和探索热力图模型，结果显示相较于传统线性展馆，四维叙事展馆用户的平均停留时间提升了27%，浏览深度与事件触发数量分别增长34%和42%，表明四维模型有效激发了用户探索欲与认知潜力。A/B测试进一步验证了这种提升：四维组在交通节点理解测验中的正确率为86%，而线性组仅为64%；在问卷反馈中，四维组在“情境沉浸”、“理解连贯性”和“历史真实感”等指标上也均显著优于线性组^[5]。

用户反馈与模式验证环节，对120位体验者（包括交通文化研究者、文化旅游者和高校学生）的调研结果同样印证了四维叙事的优势：研究型用户更看重展馆的准确性与资料严谨度，普遍支持四维结构；游客型用户则对视觉体验和情节引导表现出更高兴趣；学生型用户认为四维叙事显著提高了他们对交通文化的兴趣与记忆效果。综合沉浸感（4.6/5分）、知识获得感（4.4/5分）和情感共鸣度（4.2/5分）等体验指标，四维叙事设计的有效性与其适用性得到了充分验证。

5 结论

本文基于元宇宙技术与四维叙事设计，为交通文化遗产的数字化展演提供了一套系统化的方法论与实践范式。通过动态时空复现、本土化数据融合、可视化参

数交互与多模态界面设计,有效突破了传统线性展陈的局限,实现了从“观看—理解—共鸣”的沉浸式认知路径,并在国产大飞机引擎数字孪生与航空技术对比展演等案例中验证了其显著成效:知识留存率提升81%、情感共鸣度达4.8/5、参与深度与浏览时长大幅增长。

技术实现与用户实验结果表明,四维叙事不仅能够增强公众对交通文化核心价值的认知深度,还能激发不同类型用户的参与动力。未来,应在保持历史真实性与技术创新平衡的前提下,进一步探索 AIGC 在场景生成中的应用、跨平台数据互联互通、以及完善技术伦理与史实标注机制,推动交通文化元宇宙展馆向更加开放、智能与可持续发展的方向发展,为文化遗产的传承与公共教育

开启新篇章。

参考文献

- [1]D吴志强,李华.数字孪生技术在大运河文化遗产保护中的应用[J].城市规划,2021,45(7):23-30.
- [2]李建伟.时空数据可视化在历史场景重构中的应用[J].计算机辅助设计与图形学学报,2023,55(6):33-39.
- [3]刘伟,张娜.多模态交互在虚拟展馆中的设计实践[J].艺术科技,2022,34(3):89-94.
- [4]周磊.元宇宙技术驱动下的文化展演创新[J].现代传播,2022,44(9):101-106.
- [5]赵敏.虚实界面中的用户行为映射模型研究[J].人机交互学报,2024,18(1):77-85.