

博物馆展陈空间的数字化交互工程设计与实现

张晓燕

河北省邯郸市磁县磁州窑博物馆 河北 邯郸 056500

摘要：本文聚焦博物馆展陈空间的数字化交互工程设计与实现，阐述理论基础，介绍关键技术，包括VR、AR、多媒体展示、传感器与智能交互技术。然后说明工程设计流程，涵盖需求分析、空间规划、内容策划和技术选型。因此，探讨实现关键要素，如技术实现与稳定性保障、内容质量与文化内涵挖掘、用户体验与参与度提升、跨部门协作与团队建设。为博物馆数字化交互提供全面指导。

关键词：博物馆展陈；数字化交互；工程设计

1 博物馆展陈空间数字化交互的理论基础

1.1 数字化交互相关概念解析

博物馆展陈空间数字化交互有着特定的理论基础。其中，数字化交互指借助数字技术与智能设备，达成人与信息、空间、物体间双向信息传递与行为反馈，核心特征为即时性、沉浸性与参与性。它不同于传统人机交互的单向输出，强调“输入—响应—反馈”的闭环逻辑，让观众从被动接收信息转变为主动参与和演绎内容。在博物馆展陈里，数字化交互构建起“展品—数字媒介—观众”的三维互动体系。从技术层面，涵盖信息采集、处理、终端呈现和反馈响应四大环节，要实现硬件、软件与内容资源的协同。从体验角度，既有“人与信息”的认知交互，如触控查询文物细节；也有“人与空间”的行为交互，像动作捕捉触发场景变化，带来多感官互动体验。

1.2 交互设计原则

博物馆展陈空间的数字化交互设计需遵循四大核心原则，以平衡技术应用与文化传播目标。其一，以用户为中心原则，要求基于观众画像精准匹配需求。故宫博物院“数字多宝阁”项目便针对青少年与研究者的设计了“观赏模式”与“研究模式”，前者侧重游戏化互动，后者提供高清细节查询功能。其二，文化适配原则，强调交互形式与展品内涵的一致性。苏州博物馆“明四家”数字展陈中，采用水墨风格的触控界面，与书画展品的艺术特质形成呼应，避免技术与文化的割裂。其三，安全性原则，既要保障文物数字资源的隐私与完整，防止数据泄露；也要确保设备物理安全，避免观众使用时发生意外，这是所有交互工程的基础前提^[1]。

1.3 博物馆展陈空间数字化交互的发展历程

博物馆数字化交互发展历经三个阶段，技术不断迭代，体验持续升级。第一阶段是初级数字化阶段（20世

纪90年代-21世纪初），以单向信息传递为核心，多媒体与互联网是关键技术。交互形式多为电子触摸屏、LED显示屏，主要用于呈现展品信息。像上海博物馆早期在青铜器展厅设电子查询屏，观众能点击查看文物年代、形制等基础信息，但缺乏双向反馈，本质是传统展牌的数字化替代。第二阶段为互动体验阶段（2010-2020年），随着移动设备普及，AR、VR技术得以应用，交互从“被动查询”转变为“主动参与”。秦始皇陵博物院“AR兵马俑”项目，观众用手机扫描标签就能看到兵马俑动态复原效果；敦煌莫高窟“数字供养人”VR体验，让观众“走进”壁画场景，获得初步沉浸体验。第三阶段是智能融合阶段（2020年至今），以大数据、AI、传感器网络为核心，实现交互的个性化与智能化。故宫“智慧故宫”分析观众轨迹推送定制导览，三星堆智能展厅根据人数自动调节交互难度，推动数字化交互进入深度融合阶段。

2 博物馆展陈空间数字化交互的关键技术

2.1 虚拟现实（VR）技术

虚拟现实（VR）技术通过构建沉浸式虚拟环境，实现观众与虚拟展品、场景的深度互动，是数字化交互的核心技术之一。其技术体系由VR头显、动作捕捉设备、虚拟内容引擎三部分构成，通过三维建模还原文物细节，借助位置追踪响应用户操作。在展陈中，VR技术主要用于三类场景：虚拟展厅可还原已损毁的文物或建筑，如故宫“V故宫”项目构建1:1虚拟宫殿，观众佩戴头显“漫步”太和殿，“触摸”龙椅纹饰；文物数字复原能呈现文物修复过程，帮助观众理解保护技术；场景沉浸式体验则让观众“参与”历史事件，如某汉代博物馆的“VR朝会”体验，用户可模拟官员参与议事。

但VR技术仍有局限：设备成本较高导致普及率受限，长时间佩戴易引发眩晕，虚拟内容的真实性需专业

团队严格把控,这些均需在工程设计中重点考量。

2.2 增强现实(AR)技术

增强现实(AR)技术通过计算机视觉将虚拟信息叠加于现实场景,实现“虚拟—现实”无缝融合,具有轻量化、高适配性的优势。其原理是通过摄像头采集环境图像,经识别定位后,将三维模型、动画等内容实时叠加在屏幕或空间中,核心设备包括手机、AR眼镜、全息投影等。在展陈实践中,AR技术的应用集中在三个方向:信息增强可叠加展品背景,河南博物院“AR青铜器”项目中,观众通过眼镜注视器物,镜片自动显示器物的铸造工艺;虚拟修复能还原残缺文物,苏州博物馆“AR古画修复”让观众直观看到残缺画作的完整形态;互动导览则实现“所见即所得”,导览信息随视线移动实时更新。相较于VR,AR无需脱离现实环境,降低了认知负荷,但受光照、识别精度影响较大,复杂展厅中易出现虚拟内容漂移,需通过算法优化提升稳定性^[2]。

2.3 多媒体展示技术

多媒体展示技术是数字化交互的基础支撑,通过整合文字、图像、音频、视频等形态,实现展品内容的立体化呈现。其核心设备包括触控一体机、环幕投影、互动投影、数字沙盘等,技术成熟且成本可控,广泛应用于各类博物馆。中国国家博物馆“古代中国”展厅采用环幕投影,将《清明上河图》转化为动态影像,画卷中人物、船只随时间变化,配合音效营造北宋市井氛围,让静态画作“活”起来。上海自然博物馆的数字沙盘通过投影Mapping技术,动态展示地球板块运动与生物演化,观众可触控切换地质年代;多媒体技术的优势在于突破文物实体限制,将抽象知识具象化,但需避免“技术堆砌”。例如过多视频设备易造成噪音干扰,需通过声场设计与内容节奏把控实现有序呈现。

2.4 传感器与智能交互技术

传感器与智能交互技术通过感知观众行为与环境变化,实现空间的自适应调整与精准互动,是交互走向智能化的关键。常用传感器包括红外、压力、姿态、环境传感器等,可实现人数统计、动作识别、位置追踪、环境监测等功能。在展陈中,其应用形式主要有三类:感应式互动装置如三星堆“青铜神树”展区,红外传感器捕捉观众手势,控制虚拟神树“开花结果”;智能环境调控如浙江自然博物院展厅,通过传感器监测温湿度与人流,自动调节灯光与空调;个性化导览机器人如故宫“古建馆导览机器人”,通过激光雷达定位,根据观众停留时间推送兴趣内容;该技术的核心挑战在于多传感器数据的同步融合与实时响应,需通过边缘计算降低延

迟,确保交互流畅性。同时,传感器布置需兼顾隐蔽性与敏感性,避免破坏展厅整体氛围。

3 博物馆展陈空间数字化交互工程设计流程

3.1 需求分析与目标设定

需求分析与目标设定是工程设计的起点,决定项目方向与效果,需采用“多方调研—精准定位—目标拆解”的方法。首先开展全维度调研:通过问卷、访谈了解观众需求,青少年偏好游戏化体验,中老年注重便捷性;实地勘察展厅物理条件,包括空间布局、承重、供电、网络等;分析行业案例,避免重复开发;历史类博物馆侧重场景还原,科技类突出科普互动,艺术类注重审美融合。最后将需求转化为可量化目标,如“青少年互动参与率提升40%”“信息查询响应时间 ≤ 1 秒”“设备年故障率低于5%”,并明确时间、预算、质量标准,形成《需求分析报告》作为设计依据。

3.2 空间规划与布局设计

空间规划需实现“技术设备、展陈内容、观众动线”的有机融合,核心是在保障体验的前提下发挥交互效能。首先进行功能分区:核心交互区放置VR/AR设备、大型装置,预留操作与排队空间;辅助体验区设置触控屏、小型展台,满足碎片化体验;休息缓冲区配备充电与内容回顾终端,缓解疲劳;其次优化观众动线,避免设备遮挡展品或造成拥堵。如将VR体验区设在展厅边缘,通过导视系统引导有序参与;采用“线性+放射状”动线,既保证基础参观流线完整,又为自主选择交互项目提供灵活度;最后兼顾技术适配与视觉协调,设备安装需考虑供电、网络接口便利性,外观设计与展厅风格统一。

3.3 内容策划与故事线构建

内容策划是交互工程的灵魂,需实现“内容驱动技术”的深度融合。首先进行内容挖掘,联合文博专家解读展品的历史背景、文化内涵、艺术价值,提炼核心信息与故事素材。如针对一件青铜器,需梳理铸造工艺、使用场景、流传历程等多维度内容;其次构建沉浸式故事线,以叙事逻辑串联内容,避免碎片化^[3]。陕西历史博物馆“大唐风华”项目以“长安一日”为主线,设计“城门迎宾—市井贸易—宫廷宴乐”三个交互章节,观众通过完成任务构建对唐代社会的认知;场景还原用VR/AR,细节解读用触控交互,科普知识用动画与小游戏。同时建立内容审核机制,确保史实准确,避免娱乐化过度。

3.4 技术选型与系统集成

技术选型与系统集成是连接理念与落地的关键,需遵循“需求匹配、技术成熟、可扩展”原则。选型阶段

综合评估：功能适配性上，沉浸式体验选VR，现场信息增强选AR，轻量化互动选多媒体与传感器；成本可控性上，预算有限时优先部署成熟设备，预留升级空间；维护便利性上，选择售后完善的品牌，降低运维难度；搭建统一数据管理平台，整合文物资源、用户数据、设备运行数据；开发标准化接口，解决设备与系统兼容问题；构建分层技术体系，分为感知层、网络层、平台层、应用层，确保稳定与可扩展。故宫“数字多宝阁”项目通过标准化接口，实现AR导览系统与智能导视屏信息同步，提升了系统协同效能。

4 博物馆展陈空间数字化交互工程实现的关键要素

4.1 技术实现与稳定性保障

技术实现与稳定性是工程落地的核心，需建立“设备选型—系统测试—运维管理”全生命周期体系。设备部署前进行适配测试：硬件上，强光环境用高亮度触控屏，嘈杂空间配降噪耳机；软件上，多场景调试交互程序，优化代码减少卡顿。系统测试开展压力、环境、安全测试：模拟100人同时互动测试承载能力，极端条件下测试设备稳定性，渗透测试排查数据风险。运维管理建立“智能监控+快速响应”机制：部署监控系统实时采集参数，异常自动报警；组建专业团队7×24小时支持，故障1小时响应、4小时修复；定期维护设备与备份数据。

4.2 内容质量与文化内涵挖掘

内容质量直接决定工程的文化价值，需构建“专家支撑—深度解读—创新呈现”体系。首先建立文博专家参与机制，邀请考古、历史、保护领域专家全程介入，确保内容权威准确。河南博物院“中原文明”项目组建12人专家顾问团，审核每个交互场景的历史细节，小到服饰纹样，大到场景布局均严格遵循史实；其次深度挖掘文化内涵，突破“信息罗列”模式，解读文物背后的精神价值。三星堆“青铜神树”交互项目不仅还原形态，更通过动画演绎其“沟通天地”的宗教内涵，呈现古蜀人宇宙观；最后创新呈现方式，将学术内容转化为通俗体验，如通过“文物拼图”传递器物结构知识^[4]。

4.3 用户体验与参与度提升

用户体验与参与度是工程的核心目标，需基于“用户画像—体验优化—反馈迭代”闭环改进。构建精准画

像，按年龄分为儿童、青少年、中老年，按需求分为游客、研究者、学生，设计差异化方案。上海自然博物馆为儿童设计“恐龙快跑”游戏，为研究者提供“标本数据下载”功能；入口设智能导视屏推荐路线，交互中提供语音提示，离开前设内容回顾终端支持扫码保存。最后建立反馈机制，通过问卷、访谈、行为分析收集意见，形成“反馈—优化—验证”迭代流程。

4.4 跨部门协作与团队建设

跨部门协作是工程顺利实施的组织保障，需构建“多方协同—权责清晰—高效沟通”机制。首先组建多元化团队，涵盖博物馆内部的展陈、文物、信息技术部门，以及外部的设计、技术开发、施工单位。明确各方权责：展陈部门主导内容策划，文物部门负责资源审核，技术部门保障系统搭建。建立常态化沟通机制，每周召开项目例会，重大节点组织联合评审；团队建设需注重复合型人才培养，组织文博人员学习技术知识，技术人员参与文物培训，确保团队具备跨领域协作能力。

结束语

博物馆展陈空间的数字化交互工程，是科技与文化深度融合的创新实践。从理论基础的夯实，到关键技术的突破，再到设计流程的规范以及实现要素的把控，每个环节都紧密相连、缺一不可。它不仅革新了观众的参观体验，更助力文化传承与传播。未来，随着技术持续进步，博物馆数字化交互将不断升级。我们应持续探索创新，让博物馆在数字化浪潮中绽放独特魅力，为观众带来更丰富、更优质的文化盛宴。

参考文献

- [1]张婉珍,李婉,蒋文瑞.拓展现代博物馆内容创意与开发对策——以甘肃省博物馆和日本的TeamLab为例[J].新西部,2020(27):99-101.
- [2]赵成龙.浅谈沉浸式多媒体对博物馆自我虚拟化的影响[J].大众文艺,2023(07):223-225.
- [3]郑文婷.互动多媒体装置艺术在博物馆展陈设计中的应用研究[J].文物鉴定与鉴赏,2023(03):60-63.
- [4]任思远.数字化技术在博物馆展陈中的发展和应用[J].文物鉴定与鉴赏,2020(16):142-143.