

基于 KANO 模型的虚拟博物馆沉浸式体验设计研究——以徐州汉画像石艺术馆为例

朱田田 聂莎

(上海工程技术大学, 上海 201620)

摘要:随着数字技术的不断发展,虚拟博物馆成为了现代文化传播和教育的重要形式。本研究基于 Kano 模型,探讨了如何通过分析虚拟博物馆用户需求,优化其沉浸式体验设计以提升用户满意度。通过问卷调查和专家访谈收集数据,采用 Kano 模型与 AHP 层析分析法对虚拟博物馆的用户需求进行分类,识别出必备需求、期望需求和魅力需求,并细化为 9 条具体路径,最终形成了虚拟博物馆沉浸式体验的系统性策略框架。研究发现,满足基础需求对用户的基本满意度至关重要,而魅力需求的引入能显著提升用户的情感共鸣和沉浸感。进一步分析表明,虚拟博物馆的沉浸体验、交互方式及虚拟现实 (VR) 的应用,在不同需求层次的满足中起着关键作用。未来研究可进一步探索不同类型用户群体的需求以及新兴技术的应用,以增强虚拟博物馆的互动性和教育功能。

关键词: KANO 模型; 虚拟博物馆; 沉浸式体验; 用户需求; 虚拟现实;

中图分类号: TS664.1 ; TU238

DOI: 10.71411/cds-2025-v1i3-751

The Study of Immersive Experience Design for Virtual Museums Based on the KANO Model: A Case Study of the Xuzhou Han Pictorial Stone Art Museum

Zhu tiantian Nie sha

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620)

Abstract: With the continuous development of digital technology, virtual museums have become an important form of modern cultural dissemination and education. This study, based on the KANO model, explores how to optimize the immersive experience design of virtual museums to enhance user satisfaction by analyzing user needs. Data

were collected through surveys and expert interviews, and the Kano model and AHP (Analytic Hierarchy Process) were used to classify the user needs of virtual museums. The study identifies basic needs, expected needs, and attractive needs, which were further refined into 9 specific pathways, ultimately forming a systematic strategy framework for the immersive experience of virtual museums. The study found that meeting basic needs is crucial for users' fundamental satisfaction, while the introduction of attractive needs can significantly enhance users' emotional resonance and immersion. Further analysis indicates that the immersive experience, interaction methods, and the application of Virtual Reality (VR) play a key role in meeting the different levels of user needs. Future research could further explore the needs of different user groups and the application of emerging technologies to enhance the interactivity and educational functions of virtual museums.

Keywords: KANO model; virtual museum; immersive experience; user needs; virtual reality

前言

博物馆是保护和传承人类文明的重要殿堂，是连接过去、现在、未来的桥梁^[1]。保护和传承中华优秀传统文化的关键在人。博物馆是能为观众直接提供文化信息的机构^[2]。随着虚拟现实（VR）技术的发展，博物馆在打造沉浸式参观体验方面有了新机遇。据《中国青年报》（2015）调查，仅17.3%的受访者经常参观实体博物馆，61.1%偶尔光顾，原因包括亲和力不足信息不便和互动性差^[3]。这表明传统实体博物馆展示方式与观众需求不匹配。随着社会生产和社会生活的进步，传统博物馆也在不断向数字化、虚拟化跟智能化方向发展。很多博物馆通过VR、AR、360度全景、互动展示和数字复制等技术，制作虚拟展览。研究发现，目前虚拟博物馆已成为一种大众认知与学习文化遗产的重要手段，如故宫、敦煌莫高窟等上百家博物馆均已开发了移动平台。基于Web端的全景虚拟博物馆因其轻量化、情景化、全景式等特质，在大众传

播和在线学习层面备受博物馆和大众的喜爱^[4]。

VR展览通过沉浸感和交互方式提升了展品传播力与观众认知度，国内数字虚拟博物馆迅速发展。然而，得益于新一代数字技术突破与普及，人类社会正处于“泛在计算（ubiquitous computing）”时代。如何直面社会数字化转型给未来博物馆发展带来的挑战，将取决于博物馆如何融入数字社会，以及是否理解在社会数字化情境下，人们生活方式与价值观的变迁^[5]。虚拟博物馆技术发展迅速，但目前大多聚焦于技术实现，忽视了用户情感共鸣和文化认知的深层需求。尤其在呈现像徐州汉画像石这类二维、叙事性强的文化遗产时，面临独特挑战。如何避免过度三维化破坏原作的构图美感，以及如何通过交互设计有效解读画像石中的故事，是当前设计中的关键问题。汉画像石作为平面艺术，依赖二维空间的构图和表现，而虚拟博物馆通常依赖三维技术，如何平衡这两者成为重要课题。同时，如何通过交互设计引导观众理解其中复杂的历史与

文化，也是设计中的难点。因此，本研究旨在填补虚拟博物馆设计中的空白，聚焦情感共鸣与文化认知的深层需求，探索通过创新的交互设计与虚拟技术，解决二维与三维、叙事与互动之间的张力，提升虚拟博物馆的沉浸感与文化传播效果。

一. 研究背景与文献综述

1.1 研究背景

随着数字技术的迅猛发展，虚拟博物馆已经成为文化遗产传播和观众体验的重要新途径。传统博物馆的展示方式，虽然在文化传承和教育功能上具有不可替代的作用，但随着时代的变迁，尤其是信息技术的普及，传统博物馆的展示形式面临着与现代观众需求的脱节问题。博物馆强调由传统的以“物”为导向转变为以“人”为导向^[6]、强调以观众为中心的互动性、沉浸感和参与感，这为虚拟博物馆的设计提供了新的思路和理论支持。

虚拟博物馆作为博物馆数字化转型的重要组成部分，尤其是在沉浸式体验的打造上，已经成为学术界和实践中的重要课题。KANO 模型作为一种有效的需求分析工具，能够帮助设计者根据用户需求的不同层次（基础需求、期望需求和兴奋需求）优化虚拟博物馆的设计策略，从而提升观众的整体体验。因此，KANO 模型为虚拟博物馆的沉浸式体验设计提供了重要的理论支持，并为博物馆设计提供了明确的用户导向的研究路径。

1.2 文献综述

在数字化时代，用户需求日益趋向个性化和定制化。精准识别用户的核心需求并针对性地优化设计，已成为提升数字虚拟博物馆体验的关键所在。易欣玥等^[7]将 Kano-AHP 模型引入科技博物馆空间设计研究，通过科学划分受众需求类型和量化需求权重指标，显著提升了博物馆空间设计的用户满意度。谭肖肖^[8]等以老年用户为研究对象，并使用 AHP 法计算了各需求的权

重，得出适老性公共空间应聚焦在安全、舒适与适应性的特点上。褚海峰^[9]通过 KANO-AHP 法，准确分析历史文化街区公共设施的用户需求，设计出兼具功能服务和历史文化特征的设施，为我国历史文化街区公共设施设计提供了理论依据和实践参考。这些研究表明，KANO-AHP 模型在各类设计领域的广泛应用，不仅为用户需求的深入分析提供了科学方法，还为实际设计提供了可操作的理论支持和实践指导。

虚拟博物馆的沉浸式体验设计已成为近年来的研究重点，其关键要素包括沉浸感、交互性和叙事性等特征。智慧博物馆沉浸式体验，不仅应包含针对受众心理所构建的“沉浸式主题故事”，即通过叙事性设计，使观众产生代入感极强的沉浸式体验^[10]如“印象派之夜展”让观众体验莫奈作画，“何以文明”展中观众可“创造”文物，均通过交互任务、探索式设计、多人互动等方式，将观众从被动接收者转变为主动参与者和创造者^[11]。对于兼具物质与非物质文化价值的木质乐器，虚拟博物馆既呈现实体，又承载演奏技艺、历史传承与文化叙事^[12]。虚拟博物馆通过创新的技术手段和设计方式，突破了传统博物馆的展示局限，使观众能够更深入、全面地体验文化遗产的历史与背景。

目前，尽管虚拟博物馆和文化遗产展示领域的研究在技术应用和展示创新方面取得了一定进展，但仍存在一些不足之处。“虽然李佳^[13]等技术接受模型研究了 VR 用户体验，但侧重于通用因素，未深入文化遗产内容本身；而苏怡^[14]等实践总结缺乏像 Kano 模型这样的结构化需求分析工具支撑。张莅坤^[15]等通过融合空间计算、AIGC 和超高清 VR 技术提升了南京博物院展览的叙事性和效率，但未深入探讨如何通过需求分析优化用户体验；而卢润彩^[16]则研究了以“参观者体验为中心”的交互式设计，虽然提

供了创新展示方式，但缺乏基于 Kano 模型的多层次需求分析。因此，本研究将采用 Kano 模型结合 AHP 方法，填补现有虚拟博物馆和文化遗产展示研究中缺乏基于用户需求多层次分析的理论框架的空白，特别是在情感共鸣和文化认知需求方面的深层挖掘，致力于通过 Kano 模型结合 AHP 方法，精确识别并优化用户的核心需求，从而提升虚拟博物馆的设计策略和用户体验。

二. 相关研究基础

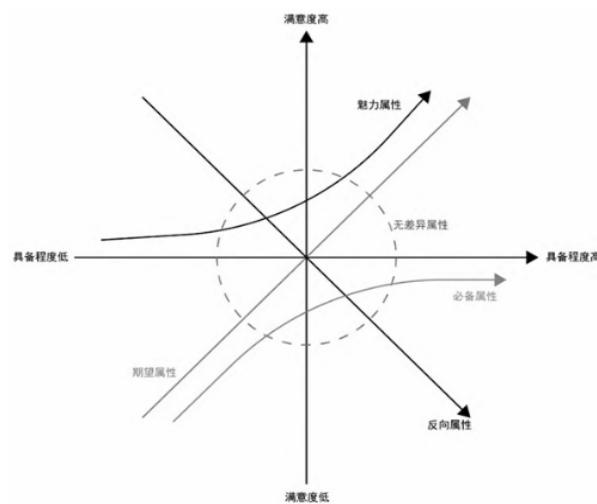
2.1 研究对象

本研究以徐州汉画像石艺术馆中常设展线上 VR 展览为研究对象。徐州汉画像石艺术馆不仅是汉文化的载体，也是对汉画像石的保护与研究的重要基地。同时，作为展示汉代画像石艺术的重点文化项目，致力于通过独特的展示空间、历史文化传承和现代科技的结合，为公众呈现出汉代艺术的独特魅力。艺术馆内藏有 400 余件珍贵的汉代画像石作品，涵盖了汉代社会、宗教、历史以及民间艺术的方方面面。艺术馆的建设不仅为传承和展示汉代文化提供了空间，也为区域文化旅游和学术研究提供了支撑。徐州汉画像石艺术馆线上虚拟展馆中，通过 360 度摄影方式，对博物馆的全部常设展进行采集，最终制作成可以模拟现场参观的 VR 内容发布在互联网上。如图 1 所示为该博物馆 VR 系统界面。除常设展的主体展示画面，该系统还包括其他几个主要功能如自动引导、展览服务、虚拟导览、安全提示、全景漫游，文物浏览跟展馆模型等，进一步提升用户的虚拟参观体验。这种设计为用户提供了沉浸式的线上参观体验，使得观众可以便捷地通过在线平台浏览展馆的展览内容，探索汉画像石艺术的历史与文化。线上 VR 展览通过突破时间与空间限制、提供沉浸式体验、同时节省成本并拓展文化传播的范围，是包括北京故宫博物院、南京博物院、法国卢浮宫博物馆、美国大都会

博物馆等在内，国内外主要博物馆常用的先进数字技术。



图一 徐州汉画像石艺术馆线上虚拟展



图二 KANO 模型

2.2 研究理论

2.2.1 kano 模型

KANO 模型是日本东京理工大学教授狩野纪昭博士于 20 世纪 70 年代提出的一种用户需求分析模型，展示了客户满意度与产品或服务性能之间的关系^[17]。图 2 该模型通过将客户需求分为五个类别，帮助企业识别并满足不同层次的客户期望，从而提升客户满意度。KANO 模型的五个需求类别包括：基本需求、期望需求、兴奋需求、无差异需求和反向需求。该模型帮助企业识别和优先满足不同层次的客户需求，从而优化产品设计和提升客户满意度。

在本研究中,选择KANO模型来分析虚拟博物馆的用户需求,主要基于其在需求层次分析方面的优势。本研究选择KANO模型分析虚拟博物馆用户需求,主要因为其能够区分需求的不同层次,从而提升观众满意度。尤其在虚拟博物馆中,用户对沉浸感、交互性和叙事性等的需求通常具有层次性,KANO模型能够提供有效的指导。虽然KANO模型在用户需求评估中应用广泛,但其对用户需求的重要性及优先级的评估方法尚不准确。因此通过对用户需求属性进行划分,进而得到用户需求权重排序也成为设计方案侧重点及设计决策的重要依据^[18]。同时,文化体验需求往往具有较强的主观性和模糊性,KANO模型可能无法完全把握这些情感需求,因此,结合其他方法如AHP和模糊综合评价法将有助于更加全面地分析用户需求。

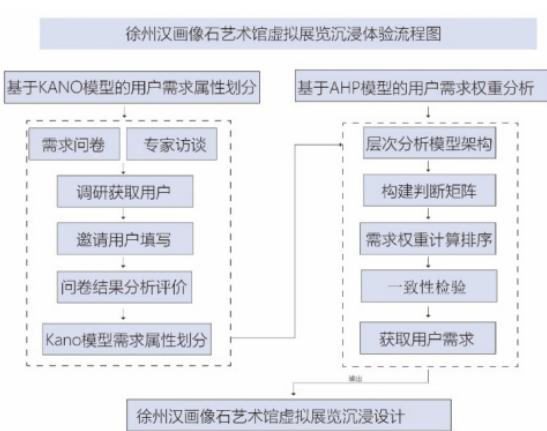
2.2 虚拟博物馆沉浸式体验概念与特征

数字博物馆(Digital museum)或虚拟博物馆(Virtual museum),是以博物馆为主题,结合数字多媒体技术应用、展示与传播的媒介平台^[19]。数字虚拟博物馆作为数字化时代的新兴文化形式,为文化传承、教育与娱乐提供了全新的平台与载体。数字博物馆作为实体博物馆的“羽翼”,与实体博物馆互为补充相辅相成,而非相互替代^[20]。随着技术的持续创新与应用,数字虚拟博物馆将在数字文化领域中扮演日益重要的角色,成为实体博物馆的有力补充,进而为公众提供更为丰富与多元的文化体验,并促进知识的广泛传播。沉浸理论是心理学中的分支,现被广泛应用于教育、体育、艺术、游戏等领域。沉浸理论能帮助人们进入一个专注、高效的学习状态,获得高满足感、高持续性的沉浸体验^[21],而沉浸式体验是一种多感官的交互过程,能为用户带来直观的情感价值^[22]。其核心特征包括临场感、互动性、感官投入、用户控制、沉浸深度、情感

参与、多用户体验与时间感知,共同营造出逼真而难忘的虚拟体验^[23]。学者Novak和Michel从条件、体验和结果三个方面归纳了沉浸理论,指出明确目标、适时反馈和匹配挑战是沉浸的基础,而高度集中、行动感知融合和失去自我意识则是沉浸体验的核心状态。这三个要素是既递进关系而又相互作用。应用于虚拟博物馆设计中,可以表现为通过感官刺激和交互设计增加用户在游览过程中的专注度和沉浸感,让体验本身成为用户持续使用虚拟博物馆的动力^[24]。“庖厨宴饮”是徐州汉画像石代表作之一。在徐州汉画像石艺术馆虚拟线上展览的沉浸设计中,可以通过AR技术使用户能够参与复原的古代厨房和宴饮场景,通过触控与虚拟食材互动,体验古代饮食文化。AR还可展示食材的来源和宴会的背景故事,让用户沉浸于历史氛围,增强“临场感”并深化叙事体验。

2.3 结合Kano-AHP方法的虚拟博物馆交互研究流程

本文以虚拟博物馆为研究对象,结合Kano模型与AHP方法,对用户需求进行定性与定量分析,构建了需求层次结构,并据此提出了线上展厅的设计原则,系统地构建了提升沉浸式体验的设计策略框架,为虚拟博物馆的可持续发展提供理论支持与实践指导(图三)。



图三 虚拟博物馆沉浸体验设计流程图

三. 基于 KANO-AHP 模型的用户需求分析

3.1 基于 KANO 模型的用户需求获取

徐州汉画像石艺术馆虚拟线上展览的沉浸设计需求具有明显的多样性和差异性，为了全面理解用户需求的各个方面，并确保设计能够满足不同群体的期望，必须采用多种调研方法进行深入调查。本文采用问卷调研与专家访谈的形式去了解目前虚拟线上展览沉浸体验不足与需求，选取普通观众、教育用户、文化爱好者、残障人士、技术爱好者、老年用户和亲子用户，共发放问卷 250 份，回收有效问卷 208 份。专家访谈选择 10 位访谈对象，访谈成员涉及教师 5 位（会展与空间环境设计教师 3 位；数字媒体设计师 2 位）、用户体验设计师 2 位、博物馆技术 1 位、虚拟现实技术专家 1 位。通过结合专家访谈和问卷调查，更广泛的收集游客需求数据，为徐州汉画像石艺术馆虚拟线上展览沉浸设计提供科学依据，优化设计方案，提升游客体验。通过对专家访谈和问卷调查的梳理，得到了虚拟博物馆沉浸体验初始用户需求（如图 4）。

虚拟博物馆的用户可以根据需求和行为被划分为多种类型：普通观众、教育用户、文化爱好者、残障人士、技术爱好者、老年用户和亲子

用户。每类用户的需求不同，普通观众注重简洁、直观的界面和流畅的浏览体验，教育用户则更加关注学习资源和教育功能，技术爱好者更偏向于虚拟现实和互动体验，残障人士需要无障碍功能以确保可访问性，老年用户对易用性和舒适度有较高需求，亲子用户则期望有适合家庭的互动体验和教育内容。基于前期问卷及访谈的功能需求，挖掘现有虚拟博物馆存在的功能不足与不便，了解用户在游览虚拟博物馆过程中不同主体的功能需求侧重点，对问卷与访谈结果进行综合分析，提炼出虚拟博物馆沉浸体验功能需求共计 10 项（如表 1 所示）。

初始用户需求	说明
流畅用户体验	确保操作流畅，提升浏览和互动的顺畅度
简单易用界面	设计直观易用的界面，降低操作难度
无障碍访问	确保操作流畅，提升浏览和互动的顺畅度
兼容不同设备	用VR技术重现历史场景，增强共鸣
沉浸感情景再现	利用VR技术重现历史场景，增强共鸣
互动体验	互动方式参与展览，提升操作趣味性
情感共鸣	通过教导、视觉和音效元素，增强理解
个性化体验	提供定制化功能，满足用户个性化需求
教育性与学习性	设计富有教育价值内容，体验中学习知识
多感官体验	结合视觉、听觉等感官，增强沉浸感

图四 虚拟博物馆沉浸体验初始用户需求图

表 1 虚拟博物馆沉浸体验功能需求项目及其分类表

需求类型	编号	功能需求特征	说明
条件因素	Q1	流畅用户体验	确保操作流畅，提升浏览和互动的顺畅度
	Q2	简单易用界面	设计直观易用的界面，降低操作难度
	Q3	无障碍访问	考虑不同用户群体，确保残障人士使用
	Q4	兼容不同设备	保虚拟博物馆在各类设备上顺利运行
体验因素	Q5	沉浸感情景再现	利用 VR/AR 技术重现历史场景，增强共鸣
	Q6	互动体验	交互方式参与展览，提升操作趣味性
	Q7	情感共鸣	通过叙事，视觉和音效元素，增进理解
结果因素	Q8	个性化体验	提供定制化功能，满足用户个性化需求
	Q9	教育性与学习性	设计富有教育价值内容，体验中学习知识
	Q10	多感官体验	结合视觉、听觉等多感官，增强沉浸感

表 2 KANO 模型李克特 5 级问卷表

功能 / 服务	负向题				
	我很喜欢	理应如此	可有可无	我不喜欢但接受	我不喜欢
正向题	我很喜欢	Q	A	A	O
	理应如此	R	I	I	M
	可有可无	R	I	I	M
	我不喜欢但接受	R	I	I	M
	我不喜欢	R	R	R	Q

3.2 KANO 模型问卷设计

遵循初始用户需求设计制作李克特 5 级问卷表，依据用户需求项进行正反两个维度设置，每个初始需求包含 5 个选项：我很喜欢、理应如此、可有可无、我不喜欢但能接受、我不喜欢，选项所对应的分值为 5 分、4 分、3 分、2 分和 1 分（表 2）。问卷通过线上渠道（社交媒体平台）和线下渠道（现场发放）进行分发，调查持续二周，样本包括不同年龄（18-60 岁）、职业背景

（如学生、教师、科技行业从业者等）和参观经验的用户。根据收集到的数据，结合 Kano 模型分类判断矩阵，将用户需求按照 KANO 模型分为 5 个需求类别：必备需求（M）、期望需求（O）、魅力需求（A）、无差异需求（I）、逆向需求（R）。本研究排除其他属性需求，对必备属性、期望属性和魅力属性的需求项深度研究。其判定标准见表 3。

表 3 KANO 模型评价分类判断表

如果提供这项需求，您的接受程度（正向题）			如果不提供这项需求，您的接受程度（反向题）								
变量	需求项	我很喜欢	理应如此	可有可无	我不喜欢但接受	我不喜欢	我很喜欢	理应如此	可有可无	我不喜欢但接受	我很喜欢
条件因素	Q1 流畅用户体验	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	Q2 简单易用界面	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	Q3 无障碍访问	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	Q4 兼容不同设备	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
										

3.3 Kano 问卷数据分析

将 KANO 模型的分类结果汇总后得到表 4，并归为如下 3 类。1) 必备型需求 2 项，分别是用户顺畅浏览、互动和探索空间的功能和直观简洁设计跟易于操作的界面。这些需求是用户认为

理所当然的功能，虽然其存在不会带来明显的满意度提升，但若不能满足，用户将会极度不满。2) 期望型需求 2 项，分别是兼容特殊需求用户的访问性以及兼容不同设备的功能。这类需求与用户的满意度成正比关系，功能设计得越好，用户的

满意度越高。3) 魅力型需求 5 项, 分别是沉浸感情景再现功能、互动性体验功能、激发情感共鸣的设计、个性化体验与多感官体验功能。这些需求是用户未必预期的功能, 但若实现, 将带来极大的满意度提升。

因此, 虚拟博物馆的设计应着重于创新性

魅力需求的引入, 同时确保必备需求的稳定执行和期望需求的全面满足。通过这一综合策略, 博物馆能够为观众创造更加丰富、互动和个性化的体验, 从而提升观众的满意度和参观积极性, 最终实现与观众的深层次连接和长期互动。

表 4 Kano 用户问卷分类与计算结果

功能	M (必须需求)	O (期望需求)	A (魅力需求)	R (逆向需求)	Q (非常喜欢)	需求属性
流畅用户体验	19.71%	62.5%	22.6%	12.02%	62.88%	必备需求
简单易用界面	21.15%	69.23%	16.35%	12.02%	62.4%	必备需求
无障碍访问	20.67%	62.5%	20.19%	3.85%	62.5%	期望需求
兼容不同设备	29.23%	56.83%	17.79%	1.44%	66.83%	期望需求
沉浸感情景再现	19.71%	61.63%	24.42%	2.88%	71.63%	魅力需求
互动体验	21.63%	60.19%	25.38%	3.37%	70.19%	魅力需求
情感共鸣	22.12%	60.19%	16.35%	2.92%	70.19%	魅力需求
个性化体验	21.15%	59.23%	24.9%	1.92%	69.23%	魅力需求
教育性与学习性	20.19%	66.83%	16.83%	2.4%	66.83%	无差异需求
多感官体验	22.12%	71.63%	14.42%	2.4%	71.63%	魅力需求

四. 基于 AHP 层次分析法获取各功能需求权重

4.1 建立层次分析模型

层次分析法 (AHP) 作为一种系统化的多准则决策工具, 通过构建层次化指标体系并采用专家评分方式, 可有效量化评估各层级指标的相对重要性。在用户需求的研究中, 准确识别需求优先等级不仅是深入理解用户核心诉求的基础, 更是指导产品设计与开发的重要依据^[25]。

本研究在前期运用 Kano 模型完成徐州汉画像石艺术馆虚拟博物馆沉浸体验设计功能需求筛选的基础上, 进一步构建了层次分析模型, 以量化评估各功能需求的重要程度。该模型包含 3 个层级: 目标层聚焦于徐州汉画像石艺术馆虚拟博物馆沉浸体验设计需求的整体决策; 一级指标层

涵盖基本需求类型: 必备需求 (M)、期望需求 (O) 和魅力需求 (A) 3 个因素维度。方案层则整合了经 Kano 模型筛选出来的 9 项核心功能需求, 将这 3 类需求进一步细化为相应的子准则层, 并为每一层级设定具体的评价指标。二级指标层则整合了经 Kano 模型筛选出来的 9 项核心功能需求, 如图 4 所示。通过这一系统化的评估框架, 可为后续优化设计提供明确的优先级指导。

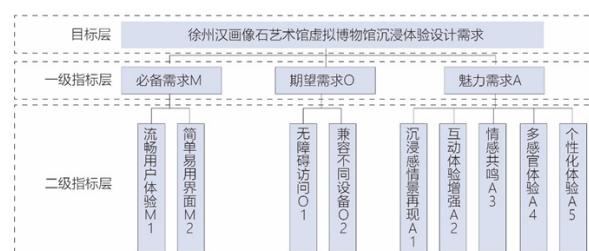


图 4 徐州汉画像石艺术馆虚拟博物馆沉浸体验设计层次分析模型

表 4 1~9 标度法

标度	重要程度说明	判断标准
1	重要程度一致	两个功能重要程度一样
5	明显重要	一个比另一个功能明显重要
9	极为重要	一个比另一个功能极为重要
2.3.4.6.7.8		以上相邻重要程度的中间值

4.2 构建判断矩阵与权重计算

为确保各需求权重结果的科学性和准确性, 在建构层次分析法判断矩阵时特邀该领域的专家进行 AHP 问卷填写, 其中包括 10 名博物馆展陈交互设计相关的人员进行填写, 分别是 4 名视觉传达设计 研究方向教授、3 名交互设计师和 3 名艺术与科技方向研究生, 其目的在于确定徐州汉画像石艺术馆虚拟博物馆沉浸体验设计要素之间的相对权重。

调研问卷采用层次分析法的形式进行设计, 该方法通过 1~9 级标度法 (表 4) 准则层以及

方案层各要素之间的相对重要性可通过两两比较得出, 通过构建判断矩阵并采用专家评分方式, 来量化评估各层级指标的相对权重。而后引入几何平均算法, 求解徐州汉画像石艺术馆虚拟博物馆沉浸体验设计需求权重值, 结果见表 5 所示, 分别是 0.5390, 0.2973, 0.1638, 为确保结果的科学性, 对判断矩阵结果行一致性检验 (需满足 $CR \leq 0.1$), 其计算公式如图 (1) ~ (2) 所示。其中准则层 CR 值为 0.089, 子准则层 CR 值分别为: 0.064, 0.018, 0.052, 全部小于 0.1, 符合一致性检验标准。

表 5 一级指标权重值计算结果

必备需求 M	期望需求 O	魅力需求 A	权重值	CR 值
必备需求 M	1	2	3	0.5390
期望需求 O	1/2	1	2	0.2973
魅力需求 A	1/3	1/2	1	0.1638

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{3.0092 - 3}{3-1} = 0.0046$$

平均随机一致性指标 $RI = 0.52$ 。随机一致性比率:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0046}{0.52} = 0.0089$$

为了保证结果的科学性, 需要对结果进行一致性检验 (需满足 $ICR \leq 0.1$), 其中一级指标 ICR 为 $0.0089 < 0.1$, 符合一致性要求。随后再次邀请专家组对二级权重指标进行权重评分, 经过计算得出二级权重指标如表 6 所示并对其一致性进行检验。经过一致性计算 ICR 分别

为 0、0、0.0094, 均小于 0.1, 符合一致性要求。为了确保评分矩阵的一致性, 本研究严格进行了 ICR 值的检验并确认所有指标均满足 $ICR \leq 0.1$ 的标准。然而, 尽管检验结果显示评分矩阵具有较高的一致性, AHP 方法中专家评分的主观性仍可能对结果的准确性和可靠性产生影响。为减少这种主观性对研究结果的影响, 并提高研究的科学性, 本研究采取了以下措施。首先, 在专家选择与参与方面, 通过邀请不同背景专家参与评分, 包括教授、交互设计师和博物馆专家, 确保结果的广泛性和代表性, 减少单一视角的偏差。

其次, 评分过程规范化方面, 采用多轮评估与反馈机制, 通过专家反复讨论和修正, 确保结果接近共识, 同时为专家提供统一的评分标准和明确的评分指南, 确保评分的规范性和一致性。最后, 在数据验证与科学性保证方面, 结合历史数据或

类似项目的经验验证专家评分结果, 确保评估的合理性和科学性。通过这些措施, 能够有效降低主观性对 AHP 方法结果的影响, 增强结果的准确性与可靠性。

表 6 二级指标权重值计算结果

一级指标	二级指标	判断矩阵		权重 %	综合权重 %	排序	CR 值
必备需求 M	流畅用户体验 M1	1	1/2	0.3333	0.1796	3	0
	简单易用界面 M2	2	1	0.6667	0.3594	1	
期望需求 O	无障碍访问 O1	1	3	0.7500	0.2230	2	0
	兼容不同设备 O2	1/3	1	0.2500	0.0743	4	
魅力需求 A	沉浸感情景再现 A1	1	2	3	5	6	0.4319
	互动体验增强 A2	1/2	1	2	4	5	0.2787
	情感共鸣 A3	1/3	1/2	1	2	3	0.1532
	多感官体验 A4	1/5	1/4	1/2	1	1	0.0734
	个性化体验 A5	1/6	1/5	1/3	1	1	0.0629

五. 徐州汉画像石艺术馆虚拟博物馆沉浸体验设计优化路径

本研究采用 KANO 模型对用户需求进行分类分析, 并运用 AHP 模型对各类需求的权重进行量化, 以选择最契合当前观众期望的交互设计

元素。通过 KANO 模型的需求分类特征, 剔除无差异需求因素, 重点聚焦于必备需求、期望需求和魅力需求的设计要素, 根据徐州汉画像石艺术馆特点提出具体的设计策略, 如表 7。

表 7 虚拟博物馆沉浸体验设计具体设计策略

需求类别	具体需求项	综合权重	具体设计策略意见
必备需求 M	流畅用户体验 M1	3	优化响应速度, 确保无延迟的浏览和互动。
	简单易用界面 M2	1	设计简洁直观的界面, 便于操作。
期望需求 O	无障碍访问 O1	2	提供语音辅助和可调节界面, 确保残障人士使用。
	兼容不同设备 O2	4	确保虚拟博物馆在多平台顺利运行。
魅力需求 A	沉浸感情景再现 A1	5	利用 VR/AR 技术重现汉画像石场景, 增强历史临场感。
	互动体验增强 A2	6	设计互动功能, 允许用户与汉画像石中的人物和场景互动, 提升参与感。
	情感共鸣 A3	7	通过故事化叙述融入汉画像石的历史故事, 引发情感共鸣。
	多感官体验 A4	8	整合多感官元素 (如音效和触觉反馈), 增强沉浸体验。
	个性化体验 A5	9	根据用户兴趣提供定制化的汉画像石主题推荐。

结合 AHP 模型的分析结果, 研究发现, 流畅用户体验 (M1) 在需求中权重较高 (权重: 3), 用户对浏览和互动的顺畅度有较高期望, 因此应优先提升系统响应速度和交互流畅度, 确保无延迟的浏览体验。具体策略包括优化加载速度和界面反应时间, 在汉画像石 VR 展览中, 确保用户快速切换不同展品和历史场景, 避免卡顿, 提高沉浸感。简洁易用界面 (M2) 排在第二位 (权重: 1), 用户期望界面直观且易于操作, 因此设计应简化界面, 减少操作难度。具体策略是设计清晰的导航和简洁布局, 避免信息干扰, 确保用户轻松浏览汉画像石 VR 展览中的历史场景和故事。

在期望需求 O 中, 无障碍访问 (O1) 在虚拟博物馆设计中的需求权重较高 (权重: 2), 反映了用户对辅助功能和可访问性的高度重视。因此, 设计应优先考虑残障用户的需求, 确保虚拟博物馆在不同群体中都能顺利访问和使用。在汉画像石 VR 展览中, 可为视觉障碍者提供语音提示, 并允许用户根据需要调整界面元素的大小和对比度, 以提升用户的使用体验。同时, 兼容不同设备 (O2) 作为高优先级需求 (权重: 4), 表明用户希望在多种设备上无缝体验虚拟博物馆。因此, 设计中应确保虚拟博物馆能够在各类设备上正常运行, 提供一致的体验。在虚拟博物馆设计中采用响应式设计, 使虚拟博物馆能够适应不同平台 (如 PC、手机、VR 设备等)。在汉画像石 VR 展览中, 这意味着无论用户使用哪种设备, 展览效果都应保持一致, 确保流畅的操作体验。

基于对魅力需求 (A) 层面的分析, 沉浸感 (A1)、互动体验增强 (A2) 和情感共鸣 (A3) 之间相互关联, 共同塑造用户的整体体验。用户期望通过虚拟技术感知历史场景的真实性 (A1), 并积极参与其中 (A2), 从而引发情感共鸣 (A3)。

因此, 虚拟博物馆设计应结合高质量的视觉效果、交互设计和情感驱动的叙事元素, 以增强用户的沉浸感和参与感。在汉画像石 VR 展览中, 通过 VR 技术重建“车马出行”历史场景 (如图 5), 用户不仅能够与古代人物互动、选择不同角色体验历史事件, 还能够通过触摸、语音识别等方式参与其中, 进一步促进情感共鸣。例如, 用户可以选择参与古代宴会场景 (如图 6), 虚拟场景中的人物与用户进行击掌互动, 并通过全息投影技术再现汉代饮酒礼仪, 展现古代社交与文化习俗。手势识别技术被用于触发宴乐演奏, 进一步提升了历史场景的沉浸感与真实性, 且通过讲述历史背景和文化习俗, 增加了用户的情感投入, 从而加深他们对历史的理解与认同。通过这种方式, 沉浸感、互动体验和叙事性得到了有机结合, 极大地提升了虚拟博物馆的用户体验。在进一步优化用户体验的过程中, 多感官体验 (A4) 和个性化体验 (A5) 作为附加需求, 对整体体验的提升至关重要。通过视觉、听觉和触觉的综合刺激, 用户的沉浸感得到了有效提升。因此, 虚拟博物馆应当融合音效、触觉反馈和视觉效果, 创造一个全方位的沉浸式环境。在汉画像石 VR 展览中, 触觉反馈 (例如通过手柄震动模拟车马行驶的感觉或宴乐的节奏) 能够进一步增强用户的参与感。此外, 在个性化体验 (A5) 的设计上, 虚拟博物馆应提供个性化推荐系统, 根据用户的兴趣和行为推送相关的历史场景和文化内容, 以提升用户体验的独特性和深度。通过这种方式, 虚拟博物馆能够提供更加沉浸和个性化的文化体验, 进一步增强用户对展览的参与感与情感共鸣。

基于上述分析, 本研究提出了一种虚拟博物馆沉浸式体验设计方案。该设计策略不仅能够有效提升虚拟博物馆的用户体验, 满足用户在沉浸感、互动性、情感共鸣、多感官刺激和个性化等方面的需求, 还能在历史文化的传过程中增强

用户的文化认同感和历史理解。这种沉浸式体验不仅提高了用户的参与感，还通过高质量的虚拟技术和人性化的设计增强了虚拟博物馆在文化教育和历史传播中的作用。



图 5 车马出行 VR 互动图



图 6 庵厨宴饮交互叙事图

结语

本研究的创新之处在于首次将 Kano-AHP 模型系统应用于二维石刻艺术虚拟展示的需求分析中，实证性地揭示了用户对这类文化内容的需求并验证了 Kano 模型在文化体验设计领域的适用性。研究发现，用户将“流畅浏览”和“界面直观”视为虚拟展示的基础保障需求，而“情感共鸣”（可能与画像石故事解读相关）等魅力需求则具有巨大潜力，能显著提升用户体验。这一发现为同类文化遗产的数字化设计提供了优先级决策依据，明确了虚拟展示设计中的关键方向。在理论价值上，研究发现，由于文化体验涉及复杂的情感需求，‘魅力需求’的范畴可能比在传统产品设计中的定义更为宽泛和动态，进一步丰

富了用户体验理论。此外，本研究对文化遗产的虚拟展示设计提供了新的视角，尤其是在情感共鸣和用户参与度的提升方面。在实践价值上，本研究通过精准的需求权重排序，为徐州汉画像石艺术馆的 VR 系统迭代提供了直接、量化的决策支持。例如，开发资源应优先保障界面流畅度（权重 0.3333），确保用户在浏览和互动中的顺畅体验，之后再考虑引入基于 AR 的画像石互动复原个性化功能（权重 0.0629），以提升情感共鸣和历史场景的互动性。此框架不仅适用于徐州汉画像石艺术馆，还可迁移至其他类似文化遗产的数字化项目中，为文化遗产数字化展示提供优先级决策依据。

参考文献

- [1] 董渺. 用好博物馆这个“大学校” [N]. 陕西日报, 2023-08-14(001). DOI:10.28762/n.cnki.nsxb.2023.004819.
- [2] Anonymous. Make Good Use of the Big School of the Museum [EB/OL]. (2021-05-18) [2023-12-12] http://www.qstheory.cn/wp/2021-05/18/c_1127458592.htm. POLLY M G. Creating Exhibitions: Collaboration in the Planning, Development, and Design of Innovative Experiences [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2013:70
- [3] 刘军, 刘俸玲. 基于角色认知的“互联网+”博物馆公共服务设计研究——以故宫博物院为例 [J]. 装饰, 2017,(11):118-119. DOI:10.16272/j.cnki.cn11-1392/j.2017.11.029.
- [4] 柏茂源, 代福平. 网络动态可视化的交互设计原则构建 [J]. 包装工程, 2018, 39(04):193-198. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.04.037.
- [5] GIANNINI T, BOWEN J P. Museums and Digitalism [M]// Museums and Digital

- Culture. Cham: Springer International Publishing, 2019: 27-46.
- [6] 甄朔南. 什么是新博物馆学 [J]. 中国博物馆, 2001,(01):25-28+32. DOI:CNKI:SUN:GBWG.0.2001-01-003.
- [7] 易欣玥, 江波, 刘郅政. 基于 KANO-AHP 的科技博物馆空间设计研究 [J]. 设计, 2024, 37(04):56-60. DOI:10.20055/j.cnki.1003-0069.001528.
- [8] [1] 谭肖肖, 宣炜. 基于 KANO-AHP 的公共空间适老性设计研究 [J]. 设计, 2024, 37(15):66-69. DOI:10.20055/j.cnki.1003-0069.001909.
- [9] 褚海峰, 施翔. 基于 KANO-AHP-QFD 的历史文化街区公共设施设计研究 [J]. 包装工程, 2025, 46(14):381-390. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.14.039.
- [10] 曹磊, 石宇琳. 沉浸式体验餐饮空间设计研究 [J]. 家具与室内装饰, 2021, (12):117-121. DOI:10.16771/j.cn43-1247/ts.2021.12.024.
- [11] [1] 徐小虎. 博物馆 VR 大空间展览路径探析——基于南京博物院“观天下·坤舆万国全图”展的调研及思考 [J]. 东南文化, 2025, (04):140-148. DOI:CNKI:SUN:DNWH.0.2025-04-013.
- [12] 虞佳静, 杨洪泽. 基于扎根理论的虚拟博物馆沉浸式体验设计策略研究 [J]. 家具与室内装饰, 2025, 32(09):77-83. DOI:10.16771/j.cn43-1247/ts.2025.09.012.
- [13] 李佳, 姚翔翔. 基于扩展技术接受模型的博物馆 VR 展览用户体验研究 [J]. 包装工程, 2025, 46(04):250-261. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.04.021.
- [14] 苏怡. 从有形到无形——利用 VR 技术拓展博物馆实体空间 [J]. 东南文化, 2019, (S1):79-83+78. DOI:CNKI:SUN:DNWH.0.2019-S1-014.

- [15] 张莅坤, 张震. 基于 VR 大空间体验的博物馆创新数智化技术实践——以南京博物院“观天下·坤舆万国全图”展为例 [J]. 东南文化, 2025, (04):156-163. DOI:CNKI:SUN:DNWH.0.2025-04-016.
- [16] 卢润彩, 李晓红. 博物馆陈列展览数字交互设计探析 [J]. 中国博物馆, 2023, (02):96-99. DOI:CNKI:SUN:GBWG.0.2023-02-014.
- [17] LEE Y C, HUANG S Y. A New Fuzzy Concept Approach for KANO's Model [J]. Expert Syst Appl, 2009(36): 4479-4484.
- [18] 沈悦, 王娜娜, 高礼华. 基于 KANO-AHP 的南京中国科举博物馆展陈交互设计研究 [J]. 艺术设计学刊, 2024, (Z1):79-84. DOI:CNKI:SUN:XILE.0.2024-Z1-012.
- [19] DYER R F, FORMAN E H. Group Decision Support with the Analytic Hierarchy Process [J]. Decis Support Syst, 1992(8): 99-124.
- [20] 王颖: 《红山文化虚拟博物馆数字表现研究与应用》 [D], 北京工业大学, 2012.
- [21] [1] 徐贝. 虚拟现实技术在数字博物馆中的应用与发展 [J]. 文物鉴定与鉴赏, 2023, (02):76-79. DOI:10.20005/j.cnki.issn.1674-8697.2023.02.018.
- [22]] R ubin H J. 质性访谈方法: 聆听与提问的艺术 [M]. 卢晖临, 等, 译, 重庆: 重庆大学出版社, 2010, 378.
- [23] 虞佳静, 杨洪泽. 基于扎根理论的虚拟博物馆沉浸式体验设计策略研究 [J]. 家具与室内装饰, 2025, 32(09):77-83. DOI:10.16771/j.cn43-1247/ts.2025.09.012.
- [24] 袁筱峰. 基于用户体验的虚拟航空博物馆设计 [D]. 沈阳航空航天大学, 2022. DOI:10.27324/d.cnki.gshkc.2022.000183.

[25] 石元伍, 刘兆钊, 赵立帆, 等. 结合 AHP/QFD/FBS 模型的智能学习桌产品设计研究 [J]. 家具与室内装饰, 2024, 31(7): 20-27. SHI Y W, LIU Z Z, ZHAO L F, et al. Research on the Design of Intelligent Study Desks Based on AHP/QFD/ FBS Model[J]. Furniture & Interior Design, 2024, 31(7): 20-27.

作者简介:

朱田田 (2000—), 女, 研究生, 研究方向为会展与空间环境设计。

聂莎 (1988—), 女, 讲师, 研究方向会展与空间环境设计。