

砚文化虚拟博物馆的Unity3D设计

陈 瑛¹, 刘洪云¹, 陈玉杰², 范 迪¹, 郭瑞姝², 孙农亮^{2*}

¹山东科技大学电子信息工程学院, 山东 青岛

²青岛黄海学院智能制造学院, 山东 青岛

收稿日期: 2025年7月26日; 录用日期: 2025年8月26日; 发布日期: 2025年9月3日

摘 要

本文针对科技发展导致砚文化传承发展受阻的问题, 设计并实现了砚文化虚拟博物馆, 使用3DsMax搭建中式文化风格的博物馆场景, 设计基于MVC架构下的背包系统来实现博物馆馆藏砚台总体展示, 设计ScriptableObject存储列表对馆藏砚台的具体信息及砚台模型进行轻量化存储, 根据虚拟现实的碰撞检测技术、人机交互技术、动画系统设计实现了博物馆内场景漫游、人机交互、数据管理、文创游戏内容, 从用户使用角度进行界面的交互设计, 增加游戏化文创内容, 实现砚文化数字化保护与传承。

关键词

砚文化数字化, 虚拟博物馆, 虚拟可视化, Unity3D

Unity3D Design for the Virtual Museum of Inkstone Culture

Ying Chen¹, Hongyun Liu¹, Yujie Chen², Di Fan¹, Ruishu Guo², Nongliang Sun^{2*}

¹College of Electronic and Information Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

²Intelligent Manufacturing Institute, Qingdao Huanghai University, Qingdao Shandong

Received: Jul. 26th, 2025; accepted: Aug. 26th, 2025; published: Sep. 3rd, 2025

Abstract

This paper addresses the issue of obstacles to the inheritance and development of Inkstone culture caused by technological advances. It designs and implements a virtual museum of Inkstone culture, using 3DsMax to build a museum scene in a Chinese cultural style, and designs a backpack system based on the MVC architecture to achieve an overall display of the museum's Inkstone collection. A

*通讯作者。

文章引用: 陈瑛, 刘洪云, 陈玉杰, 范迪, 郭瑞姝, 孙农亮. 砚文化虚拟博物馆的 Unity3D 设计[J]. 计算机科学与应用, 2025, 15(9): 82-92. DOI: 10.12677/csa.2025.159226

Scriptable Object storage list was designed to store the specific information and models of the Inkstone collections in a lightweight manner. Using virtual reality collision detection technology, human-computer interaction technology, and animation system design, the project implemented museum scene navigation, human-computer interaction, data management, and cultural and creative game content. From the user's perspective, the interface interaction design was optimized, and gamified cultural and creative content was added to achieve the digital preservation and inheritance of Inkstone culture.

Keywords

Digitalization of Inkstone Culture, Virtual Museum, Virtual Visualization, Unity3D

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着时代变迁、硬笔普及，毛笔字淡出大众日常已久，一般书法爱好者也以墨水取代砚台研墨，砚文化面临着诸多严峻挑战。现代书写工具的广泛使用，导致砚台的实用功能逐渐被边缘化，其在日常生活中的使用场景日益减少。与此同时，传统砚台制作工艺复杂，学习过程漫长且艰辛，导致愿意投身于此的年轻一代传承者寥寥无几，这一古老工艺面临着后继无人的困境。因此，如何传承砚文化成为现在急需解决的现实问题。

随着虚拟现实等新技术发展，逐渐出现线上虚拟博物馆，因其观看便捷性很快得到了大众的认可，成为展馆和文物保护的新模式。国外较多的是以实体博物馆为参考进行数字化建设，比如，意大利虚拟展馆、美国国家艺术馆法国卢浮宫和巴黎吉美博物馆等。Loaiza [1]等人创建了一个名为 Virtual Collections 的虚拟博物馆，将阿根廷博物馆藏品数字化并进行展示。Kadri [2]等人设计出了可通过增强现实访问的虚拟空间门，使之通向由虚拟现实构建的虚拟博物馆，来丰富的文化旅游体验。Jędrzejewski [3]等人设计和创建一个互动式虚拟博物馆，代表格拉斯哥大学解剖学博物馆。Liu [4]等人根据七项多媒体设计原则，设计并实施了虚拟土家器乐博物馆。Tserklevych [5]等人开发并测试了乌克兰博物馆在线资源的使用，为广泛的研究实践创建了乌克兰博物馆在线资源专题目录。Khakim [6]等人提出开发基于安卓系统的虚拟博物馆应用程序。Eriksson [7]等人为了低成本展示分析历史变化，将斯德哥尔摩皇宫画廊进行数字化重建，并设计了斯德哥尔摩皇宫的虚拟博物馆。

随着国家文化数字化战略实施，我国开始对文物及传统文化进行数字化建设，虚拟博物馆已经成为连接历史和传承文化的重要载体。近年来已经上线了一批数字博物馆，Li [8]等人分析虚拟故宫博物院的交互设计，并探讨为参观者设计的虚拟体验，思考虚拟博物馆更有吸引力的传递知识方式。姚爽[9]等人以皖中巢湖之滨的三河古镇为研究对象，进行计算机复原构建古居民建筑的虚拟博物馆。Yang [10]等人设计出适合农村文化遗产传承的模式，根据这一模式，建立了莫干山政府示范性虚拟博物馆。Li [11]等人以中国青铜器为研究对象，构建了一个虚拟博物馆环境并设计了一个虚拟现实馆藏游戏。Han [12]等人使用虚拟现实技术的文物展示，为南昌汉代公国遗址博物馆带来别出心裁的呈现方式。邱小松[13]等人以抗美援朝事件为原型制作成虚拟纪念馆，Guan [14]等人构建了海洋历史文化虚拟博物馆，建立了数字化传播平台。

本文针对砚台使用急剧减少、新时代砚文化传承与发展的的问题，结合新技术手段提出了砚文化虚拟

博物馆的设计,设计框架如图 1 所示,采用虚拟现实技术,设计并搭建一个具有中国传统文化风格的虚拟博物馆空间,将砚台三维模型和相关历史文化信息嵌入其中,720°全面逼真展示砚台,富媒体展现其起源、发展历程、制作工艺、种类、文化内涵等各方面,能够实现博物馆空间的自由浏览及砚台的细致观察,同时编写录制符合砚台文化历史特点和展示目的的解说语音和文字,来增强虚拟博物馆的教育功能与沉浸感,进行砚文化内容再创作,设计砚台 DIY 制作及砚台连连看游戏等。根据搜集资料设计博物馆整体展示框架为砚文化导入、演变、文创展区三个主体区域,对馆藏砚台及相关内容进行设计展示,实现砚文化的传承及数字化保护。

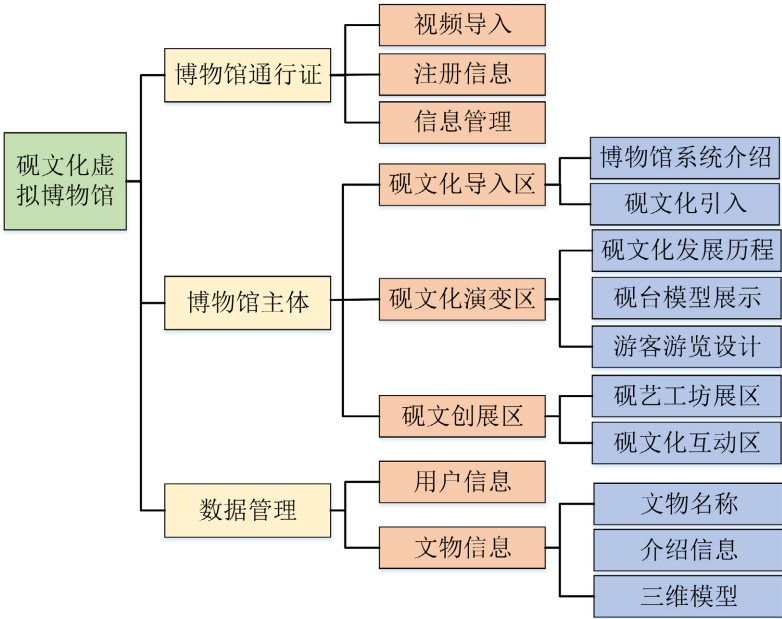


Figure 1. Framework for a virtual museum of Inkstone culture
图 1. 砚文化虚拟博物馆框架

2. 砚文化虚拟博物馆场景及声音设计

2.1. 博物馆场景搭建

博物馆及内部展台等元素的搭建使用的是 3DsMax 建模软件,在模型搭建前,需要参考实体建筑物的结构与具体尺寸进行设计,确保搭建的博物馆模型符合实际的建筑标准,同时根据场景大小适当调整具体设计的参数,通过下载实际工程 CAD 图纸作为基准进行博物馆模型搭建,通过 3DsMax 基本组件进行点、线、面以及 3D 物体的制作。考虑到后期将导入高精度的砚台模型与材质,可能导致运行内存占用过大,进而引发卡顿、掉帧等问题,因此在设计阶段即采取优化措施。通过减少建筑物模型的面数,有效释放计算机渲染内存,加速程序运行,确保博物馆场景的流畅体验。

博物馆场景设计主题风格定位为徽派建筑,突出高低错落的马头墙和整体的水乡色系。同时,融入月洞门隔断、中式屏风等中式元素,增强场景的文化氛围。利用 3DsMax 进行墙、窗户、吊顶、楼梯等模型的制作,并通过调整三维坐标实现精确拼接。采用内置材质管理器设计材质图,并附加到空白模型中。下载合适贴图后,制作材质球并添加给对应部件,根据附加结果调整材质球的不透明度、颜色、自发光度及光亮程度,使场景更加接近真实效果。完成模型制作后,导出 FBX 文件,以便在 Unity3D 引擎中进一步组合模型和添加灯光。具体实现流程如图 2 所示。灯光烘焙是场景设计中的关键步骤,在展厅

内添加 PointLight、SpotLight 等灯光类型,并调整灯光亮度、光照范围、颜色及光照角度等属性,以模拟真实展厅的灯光效果。由于 Unity 引擎中的灯光效果为实时渲染,为节省运行内存并避免系统卡顿,对博物馆中的灯光进行烘焙处理,生成光照贴图,从而有效节省运行内存空间。

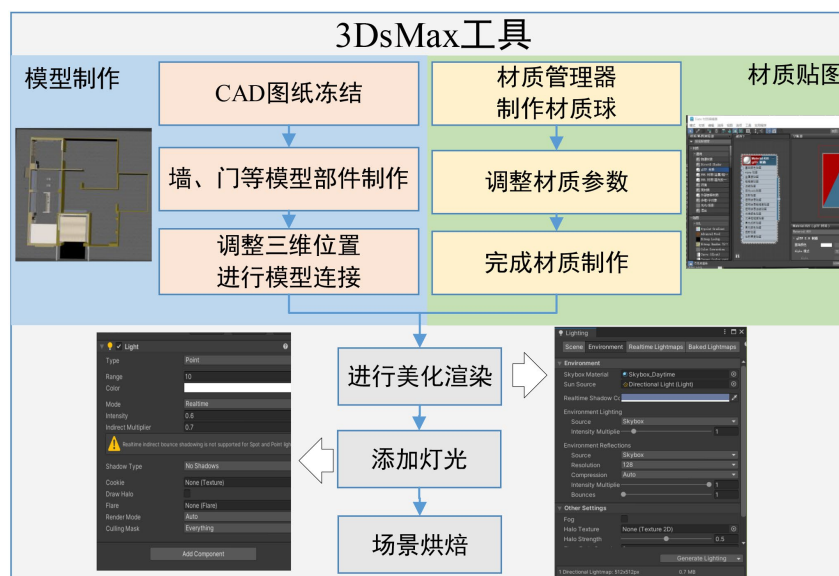


Figure 2. Scene design flowchart for the virtual museum of Inkstone culture
图 2. 砚文化虚拟博物馆场景设计流程图

场景建造之后添加碰撞 Collider 确保人物不会穿模,并设计第一人称控制器实现场景漫游。场景漫游是实现用户在虚拟场景中的自由移动和视角调整的功能,是游客游览博物馆主要方式,在搭建好的场景下,通过设计第一人称控制,绑定按键实现虚拟轴方向切换来实现人物的前后左右移动,来实现场景漫游,同时通过获取鼠标位置控制人物视野变换来实现视角的旋转,第一人称控制流程及模型设计如图 3 所示。

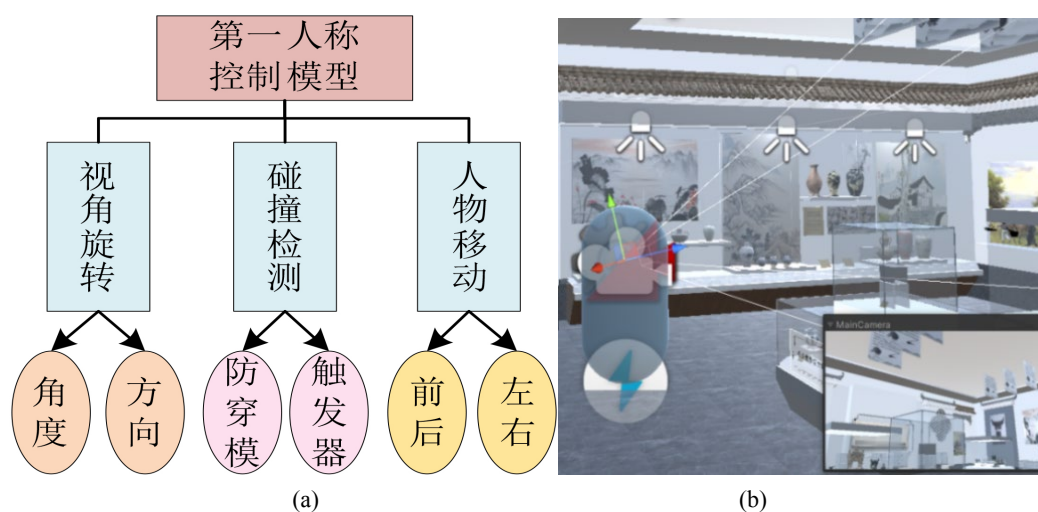


Figure 3. (a) First-person control flow; (b) first-person perspective implementation
图 3. (a) 第一人称控制流程; (b) 第一人称视角实现

2.2. 博物馆声音设计

虚拟博物馆中,添加背景音乐能够营造出中式传统的文化氛围,提升参观的沉浸感,本博物馆的音频体系主要由背景音乐、互动音效以及视频播放声音三大元素构成,为了实现对这些音频元素的有效管理,构建了一套完整的沉浸式音频体验方案,采用了 Unity 引擎中的 AudioMixer 混音器,通过音频组(Audio Group)来管理音频资源,每个音频组可以包含多个音频源,并支持应用多种音频效果,混音器 AudioMixer 工作流程如图 4 所示,调整音频器参数来达到所需要的音频效果,同时通过获取音频的 Volume 属性,编写脚本来实现背景音乐音量大小的调整。在交互设计方面,确保了用户点击产生的特效音不会干扰背景音乐的播放。当用户观看博物馆内的介绍视频时,背景音乐将自动暂停,等视频播放结束后再继续播放,以确保音频体验的连贯性和舒适性。AudioMixer 的背景音乐文件及背景音乐控制,通过动态混音技术确保了各类声音元素的和谐共存,使参观者在欣赏精美砚台展品的同时,能享受到层次丰富、具有文化韵味的听觉体验,大大提升了虚拟博物馆的艺术表现力和沉浸感。

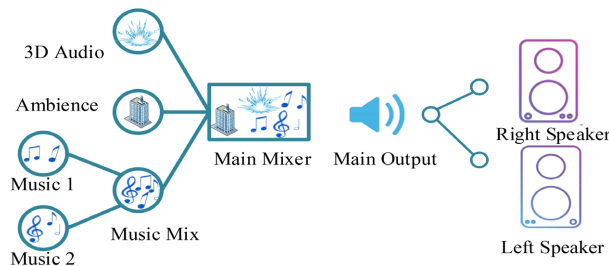


Figure 4. AudioMixer workflow
图 4. AudioMixer 混合器工作流程

3. 砚文化虚拟博物馆展区的 Unity3D 设计

3.1. 砚文化导入区设计

3.1.1. 博物馆结构

博物馆结构介绍是由卷轴特效来展示的,卷轴打开与关闭模拟了纸张卷起与展开的过程,博物馆的分区清晰展现在卷轴左侧,随着卷轴的缓缓展开,各分区的详细信息逐步揭示,避免了信息同时涌入造成的外在认知负荷过载;UI 设计采用极简风格,避免无关装饰元素干扰。同时,卷轴的形态设计使用户能直观理解“展开即阅读,卷起即收起”的交互逻辑,极大降低了理解新界面所需的内部认知负荷。在 UI 布局与信息呈现上,该设计深度遵循了认知负荷理论,有效降低了用户的信息处理负担。

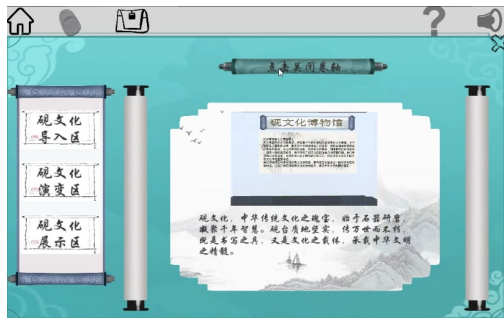


Figure 5. Painting roll effect
图 5. 画卷实现效果

博物馆的卷轴特效是基于旋轮线的数学曲线原理，应用的思想就是将屏幕看作平面，卷轴看做平面上滚动的圆，将其滚动角度、圆的半径作为参数，使用旋轮线方程计算出它各个时刻的纹理位置，随着 Update 更新卷轴位置来模拟动态展开关闭的效果，具体 UI 设计如图 5 所示。

3.1.2. 砚文化背景引入

砚文化背景引入采用的是对话系统方式，搜集砚文化资料，编写介绍内容进行博物馆引入，采用的是使用 ScriptableObject 设计 Dialogue 对话脚本的空白表格，搭建 UI 显示界面进行背景内容展示，编写脚本实现逻辑控制，用户点击即可实现内容切换，同时可以链接 RTvoice 插件对编写内容转成背景声音，实现背景语音介绍，通过编写的富有民族文化自豪感的文字，打开用户对砚文化的探索好奇心，奠定文化基调。砚台对话系统引入逻辑设计如图 6 所示。

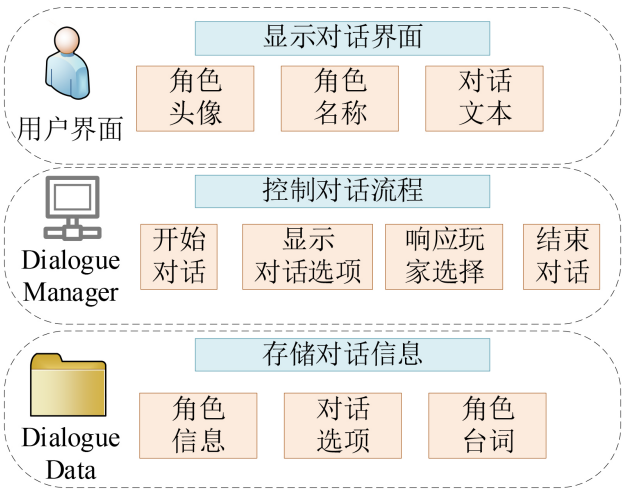


Figure 6. Logical design introduced into the Inkstone dialogue system
图 6. 砚台对话系统引入逻辑设计

为进一步丰富砚文化虚拟博物馆的内容展示，特别设计了砚文化发展历程长廊，作为砚文化相关内容引入的起点。该长廊将砚文化的发展历程细致划分为“砚之溯源”、“砚之诞生”、“砚之发展”、“砚之成熟”、“砚之繁荣”以及“砚之全盛”等多个阶段，旨在为玩家提供一条清晰、连贯的文化学习路径。通过沉浸式观赏学习，游客可从宏观层面全面了解砚文化的起源、演变及其发展脉络。砚文化发展长廊的具体布局与设计如图 7 所示。



Figure 7. Inkstone culture development corridor
图 7. 砚文化发展长廊

3.2. 砚文化演变区设计

3.2.1. 砚文化发展历程

使用改进的 MVC 背包系统思想实现砚文化菜单栏，主要进行用户界面、后台存储和逻辑设计三个方面。首先用户界面，使用 ScrollView 滚动条作为砚台发展朝代的列表目录，在滚动条上加入 Button 按钮，在按钮上挂载设计的存储脚本，来实现点击按钮即可显示该按钮下存储的朝代相关砚台；砚台展示格是对 Panel 中添加 Image 组件，通过 Grid Layout Group 组件进行格子整齐排列，调整上下左右距离以及每行有几个格子，实现各自整齐排列，数据存储使用的是基于 ScriptableObject 本地保存数据，创建一个存储物体数据的仓库，使用 CreateAssetMenu 来完成创建 AssetMenu 的方法，创建 Yantai 类继承 ScriptableObject 来实现数据存储仓库，定义砚台名称、砚台图片、简介等变量，之后进行背包数据仓库创建，同样继承 ScriptableObject，创建列表 List 来存储 Yantai 的数据表。最后进行逻辑设计，将后台数据仓库的数据展示到用户界面来，创建 BagManager 脚本并挂载到 Canvas 画布，编写逻辑进行设计，用户点击一个朝代的 Button 按钮，此时存储的数据背包内的 Yantai 表格会将图片显示到格子当中，并设计动态信息展示，使用 IPointerEnterHandler、IPointerExitHandler 进行鼠标位置检测，当鼠标移入到当前 Yantai 位置时，出现动态展示框对当前砚台的简介进行展示，以此来实现砚台菜单栏。具体展示三个层级如图 8 所示，通过菜单栏设计用户可以点击查看馆内现有的砚台样式，也可以初步了解不同朝代砚台名称、样式信息，寻找自己喜欢的砚台风格去着重了解、观察。

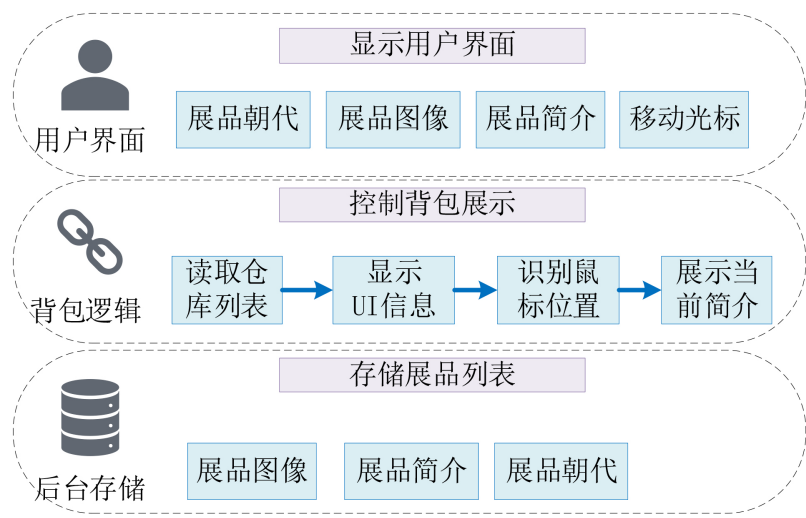


Figure 8. Three-tier content display
图 8. 三层级内容展示

3.2.2. 砚台文物展示

人机交互是虚拟现实系统中的关键组成部分，不仅推动了多领域虚拟应用的发展，也显著提升了用户的沉浸感与交互体验。本文所设计的砚文化虚拟博物馆采用的人机交互技术主要是按键交互，获取用户的鼠标、键盘等输入实现与虚拟现实中对对象的交互。鼠标点按交互原理主要是通过 Unity 引擎中内置的射线检测技术进行实现的，摄像机视锥体就是透视摄像机能够看到渲染的区域。

这种交互方式打破了传统博物馆的展示方式，做到可将文物如在手中小细端详，极大地弥合了物理距离带来的感知鸿沟，赋予用户探索的主动权和发现的乐趣。主要通过“文物级砚台”的三维展示设计实现，包含放大、缩小、720°旋转砚台文物模型，同时系统采用文字、音频、视频等多媒体手段进行砚文

化相关的展示。博物馆内展台上添加了查看按钮，点击即可查看具体砚台介绍信息及细节模型，具体实现流程如图 9 所示，砚台模型展示参考故宫博物馆、南京线上博物馆等线上展馆布局安排，调整了展示界面，用户点击砚台模型后会进入砚台文物沉浸观赏，清除其他信息只留下砚台模型进行细致观赏。

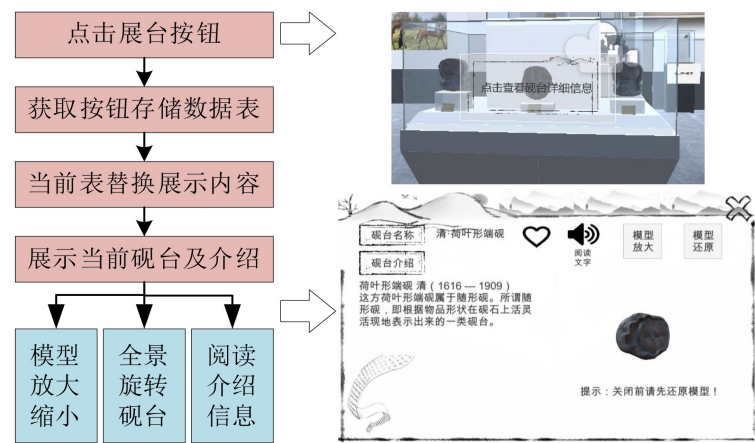


Figure 9. Exhibition booth control flow chart
图 9. 展台控制流程图

3.3. 砚文化文创展区设计

砚文化文创展区自然融入自我决定理论的核心需求，运用数字化技术打造沉浸式体验，包含三大核心模块：砚制技艺工坊通过 Unity VideoPlayer 组件实现高清视频展示，将砚台制作的 12 道工序以音画同步方式生动呈现，用户可通过交互界面自主控制播放流程，满足用户对学习节奏的掌控感；砚台 DIY 游戏提供个性化创作平台，用户可自行选择不同石材基底模型，通过实时材质调整和 UV 贴图混合技术自定义纹理与色彩，充分满足用户的个人创作表达，完成的作品可即时保存为 PNG 图片并投射至虚拟场景，使用户体会到砚台制作的成就感；特色砚台连连看游戏采用智能算法系统，通过碰撞检测触发游戏后，系统随机生成传统砚台图案矩阵，运用双层级验证机制(图案匹配 + A*路径寻路算法)确保游戏可玩性，并在玩家完成所有配对后触发通关事件。三大模块有机结合，既完整呈现非遗技艺精髓，又通过游戏化设计激发用户的内在动机、提升参与度与沉浸感，实现传统文化与现代科技的创新融合。具体实现内容如图 10 所示。

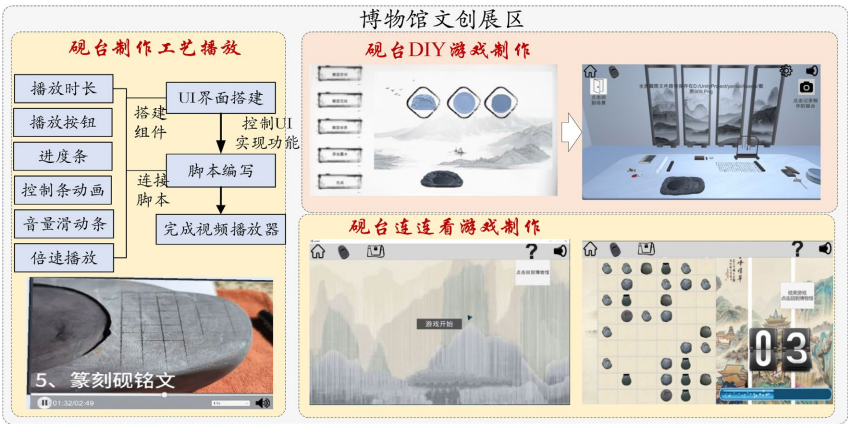


Figure 10. Museum cultural and creative exhibition area content realization
图 10. 博物馆文创展区实现内容

4. 砚文化博物馆效果及测试

砚文化虚拟博物馆的功能模块采用二维与三维相结合的交互方式，全面、立体地展现砚文化的发展历程，明确了虚拟博物馆的主要功能模块，包括场景设计、展品展示、交互体验、人物行为、文创游戏、数据管理以及虚拟漫游等。在展品展示方面，运用摄影测量三维重建技术，高精度还原砚台的模型及材质贴图，力求再现砚文化的历史韵味和艺术美感。在交互体验设计上，提供了多种用户与虚拟展品的互动方式，如点击、旋转、放大缩小等，以进一步提升用户的沉浸感和参与度。数据管理功能通过集成化的设计实现了数据存储的便捷性，使用户能够轻松获取展品的详细信息。而虚拟漫游功能则赋予了用户在虚拟博物馆中自由行走的能力，使其可以随心探索各个展区，深入了解砚文化的博大精深，具体实现效果如图 11 所示。

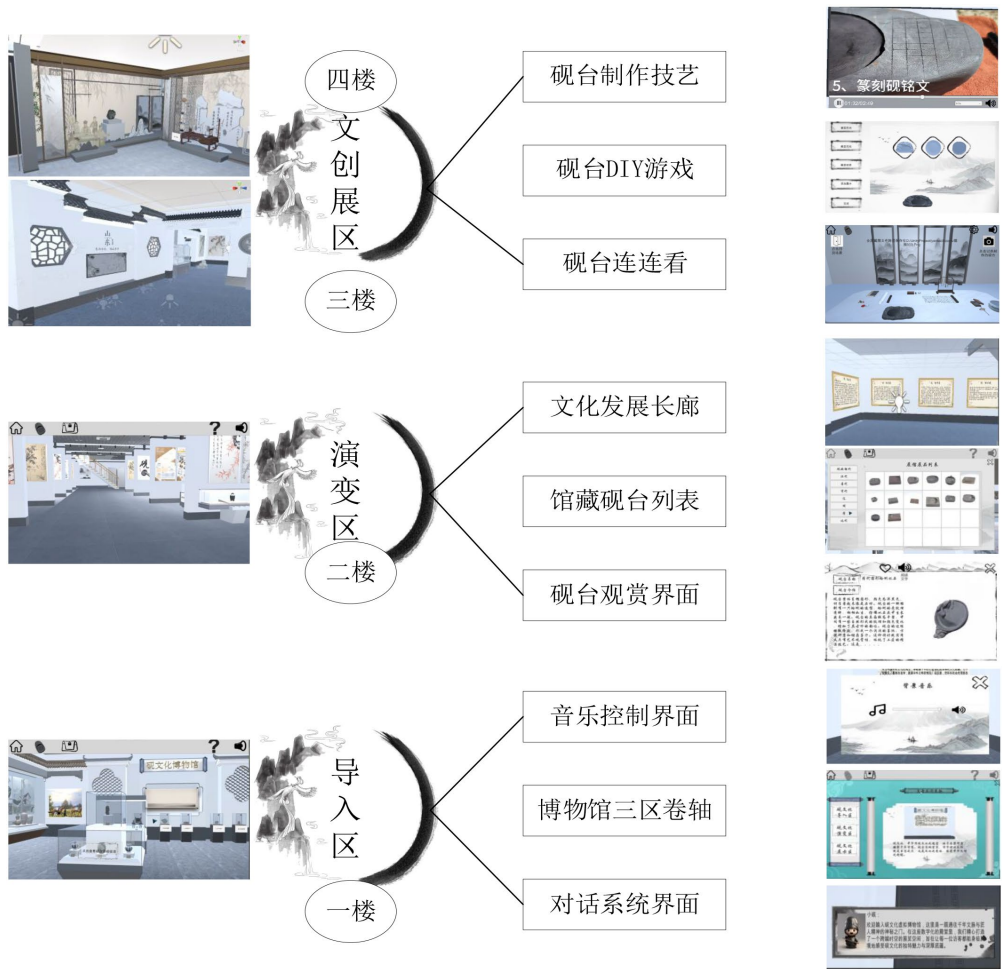


Figure 11. Results of the implementation of the virtual museum system for Inkstone culture
图 11. 砚文化虚拟博物馆系统实现结果

博物馆完成之后对基本功能以及性能进行测试，包括 UI 界面的布局 and 不同分辨率和显示比例下 UI 适配是否正确，模型与场景、UI 的交互是否存在穿透现象，视频播放的显示和播放暂停、拖拉进度条、设置倍速、改变音量等基本操作是否正常，数据是否能够准确地保存和读取等，用户测试现场如图 12 所示，此外还创建了电子问卷来调查学生对虚拟博物馆的满意度。



Figure 12. Results of the implementation of the virtual museum system for Inkstone culture
图 12. 砚文化虚拟博物馆用户测试现场图

调查问卷的设计是依据虚拟博物馆的内容呈现效果、设计功能是否实现和用户使用感受进行的。从内容、功能、用户使用感受三方面来测试用户的使用并针对问题进行改进, 砚文化虚拟博物馆内容呈现及功能设计评价结果如图 13 所示, 从内容呈现的调查结果来看, 有 83.33% 的用户满意当前内容呈现效果, 75% 的用户认为当前砚台的 3D 模型展示逼真效果好; 从功能设计及用户使用感受测试结果来看, 77.78% 用户满意当前虚拟漫游的体验, 88.89% 用户满意当前砚台展示的互动功能体验。由此可以看出, 砚文化虚拟博物馆整体表现出色且用户认可度高, 具有很强的实用性和可行性。

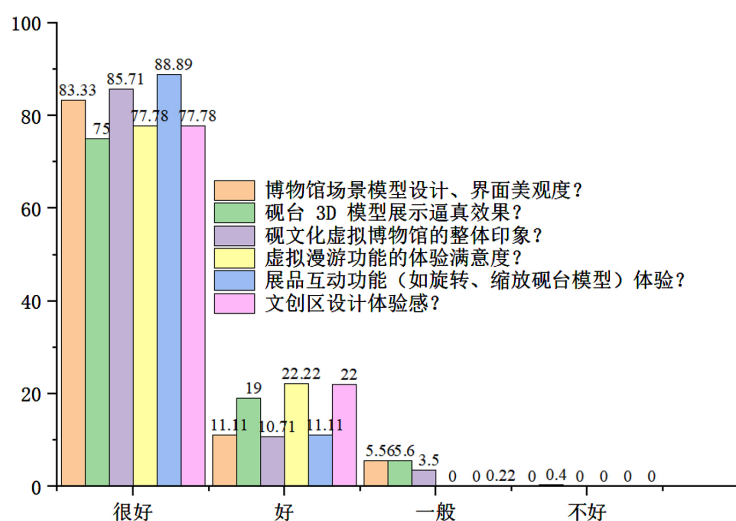


Figure 13. Evaluation of content presentation and functional design of the virtual museum of Inkstone culture
图 13. 砚文化虚拟博物馆内容呈现及功能设计评价

5. 总结

本文通过综合运用虚拟现实技术及人机交互理论, 成功构建了一个具有高度互动性和沉浸感的砚文化虚拟博物馆, 实现了砚文化藏品的数字化展示与交互体验。通过 Unity 脚本调度实现图文、音频与砚台三维模型联动展示, 使用 UGUI 界面技术、碰撞检测技术、ScriptableObject 数据管理及 MVC 框架架构, 实现了博物馆导览、砚文化演变展示、文创互动等多功能分区。砚文化虚拟博物馆不仅丰富了砚文化的传播方式和途径, 还为博物馆管理者提供了便捷的管理工具, 具有较高的应用价值和社会意义。未来, 将继续优化和完善系统功能, 推动砚文化虚拟博物馆的进一步发展和应用。

基金项目

山东省社会科学规划研究项目: 基于摄影测量和虚拟博物馆的砚文化传承与数字化保护探索研究

(23CLYJ14)。

参考文献

- [1] Loaiza Carvajal, D.A., Morita, M.M. and Bilmes, G.M. (2020) Virtual Museums. Captured Reality and 3D Modeling. *Journal of Cultural Heritage*, **45**, 234-239. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.04.013>
- [2] Kadri, M., Khalloufi, H. and Azough, A. (2020) V-Museum: A Virtual Museum Based on Augmented and Virtual Realities for Cultural Heritage Mediation. 2020 *International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCIV)*, Fez, 9-11 June 2020, 1-5. <https://doi.org/10.1109/iscv49265.2020.9204253>
- [3] Jędrzejewski, Z., Loranger, B. and Clancy, J.A. (2020) Virtual Anatomy Museum: Facilitating Public Engagement through an Interactive Application. Springer, 1-18. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43961-3_1
- [4] Liu, Q., Liu, M., Yu, S., Ma, J., Liu, J. and Jiang, Y. (2021) Design and Implementation of Virtual Museum Learning Environment from the Perspective of Multimedia Learning Theory. 2021 *International Symposium on Educational Technology (ISET)*, Tokai, 10-13 August 2021, 266-269. <https://doi.org/10.1109/iset52350.2021.00063>
- [5] Tserklevych, V., Prokopenko, O., Goncharova, O., Horbenko, I., Fedorenko, O. and Romanyuk, Y. (2021) Virtual Museum Space as the Innovative Tool for the Student Research Practice. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, **16**, 213-231. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i14.22975>
- [6] Khakim, M.N.L., Yuliati, and Sulisty, W.D. (2021) Engaging Virtual Museum of Bojonegoro for History Learning. 2021 *Universitas Riau International Conference on Education Technology (URICET)*, Pekanbaru, 14-15 October 2021, 451-455. <https://doi.org/10.1109/uricet53378.2021.9865948>
- [7] Eriksson, J., Widén, P., Ferrari, S. and Hayashi, M. (2023) Digital Reconstructions of Picture Galleries as Art Historical Method: The Virtual Museum at the Royal Palace in Stockholm. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, **29**, e00268. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00268>
- [8] Li, W. and Huang, X. (2022) The Interactive Design and User Experience of Virtual Museums: Case Study of the Virtual Palace Museum. In: Rau, P.L.P., Ed., *Cross-Cultural Design Applications in Learning, Arts, Cultural Heritage, Creative Industries, and Virtual Reality*, Springer International Publishing, 400-409. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06047-2_29
- [9] 姚爽, 陈彦冰, 樊晨, 周玉佳. 保护性古民居建筑虚拟博物馆的构建研究——以三河古镇虚拟复原为例[J]. 安徽建筑, 2023, 20(1): 12-14.
- [10] Yang, Y., Zhang, H., Chen, M., Jiang, Y. and Chai, H. (2021) An Inheritance Mode of Rural Cultural Heritage Based on Virtual Museum in China. *International Journal of Computer Games Technology*, **2021**, 1687-7074. <https://doi.org/10.1155/2021/4787991>
- [11] Li, Z., Zhang, Q., Xu, J., Li, C. and Yang, X. (2024) Gamification of Virtual Museum Curation: A Case Study of Chinese Bronze Wares. *Heritage Science*, **12**, 348-359. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01464-2>
- [12] Han, L. and Cui, Y. (2021) The Application of Virtual Reality Technology in Museum Exhibition—Take the Han Dynasty Haihunhou Ruins Museum in Nanchang as an Example. *E3S Web of Conferences*, **236**, 40-45. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123604045>
- [13] 邸小松, 梁辉. 虚拟博物馆沉浸式交互设计研究——以抗美援朝纪念馆为考察对象[J]. 艺术研究, 2023, 23(1): 161-163.
- [14] Guan, W., Qiao, L. and Chen, K. (2020) Dissemination of Marine History and Culture Based on Virtual Museum Technology. *Journal of Coastal Research*, **110**, 150-153. <https://doi.org/10.2112/jcr-si110-036.1>