



From Workshop to Cloud: Creating a Virtual Exhibition Interactive Platform for Traditional Mortise and Tenon Structures

Yang Lili[†], Dai Linhan, Sun Yuxin, Liu Yucheng, Cai Jialin^{*,†}

Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area of Ministry of Education, College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing, China

Email address:

3388427594@qq.com (Cai Jialin)

*Corresponding author

† Cai Jialin and Yang Lili are co-first authors.

To cite this article:

Yang Lili, Dai Linhan, Sun Yuxin, Liu Yucheng, Cai Jialin. (2025). From Workshop to Cloud: Creating a Virtual Exhibition Interactive Platform for Traditional Mortise and Tenon Structures. *Science Innovation*, 13(4), 86-93. <https://doi.org/10.11648/j.si.20251304.16>

Received: 14 July 2025; **Accepted:** 8 August 2025; **Published:** 12 August 2025

Abstract: The traditional Chinese mortise and tenon structure is a wisdom crystallization of Chinese civilization. However, it is currently facing severe challenges of inheritance disruption due to the impact of modern industrial manufacturing technologies, as well as its high production costs and low dissemination efficiency. With the continuous advancement of information technology, the practical means of virtually displaying and interacting with the material carriers of traditional culture through digital translation have gradually matured. This study utilizes the Unity engine to assist in creating a virtual exhibition and interaction platform for traditional mortise and tenon components. Through cloud adaptation and multi-terminal access, it breaks through the spatial and temporal limitations of physical exhibitions, providing users with basic knowledge of mortise and tenon structures, and allowing them to immersively experience the structural charm exhibited by the 3D models of mortise and tenon components in combination, rotation, and transformation. By using digital means, this study aims to achieve the protection, educational popularization, and cultural dissemination of traditional crafts, providing a practical reference case for the digital inheritance of traditional material cultural carriers.

Keywords: Unity, Art, Virtual Exhibition, Mortise and Tenon Structure

从工坊到云端：创建传统榫卯结构虚拟展陈交互平台

杨黎黎，戴林翰，刘雨澄，孙禹昕，蔡佳林*

重庆大学建筑城规学院山地城镇建设与新技术教育部重点实验室，重庆，中国

邮箱

3388427594@qq.com（蔡佳林）

摘要：中国传统榫卯结构是中华文明的智慧结晶，然而当下受到工业制造现代化技术的冲击，因其制作成本高、传播效率低，面临着传承断代的严重挑战。随着信息化技术的不断进步，传统文化的物质载体通过数字化转译实现虚拟展示和互动的实践手段逐步成熟。本研究利用Unity引擎辅助创建传统榫卯构件虚拟展陈交互平台，通过云端适配与多终端访问，突破实体展陈的时空限制，为用户提供基础的榫卯结构常识，让用户沉浸式体验榫卯构件的三维模型在组合、旋转、变换中展现出的结构魅力。通过数字化手段实现传统工艺的保护、教育普及与文化传播，为传统物质文化载体的数字化传承提供实践参考案例。

关键词: Unity, 艺术, 虚拟展示, 榫卯结构

1. 引言

中国传统榫卯结构作为人类非物质文化遗产的重要组成部分,见证着中华民族从实用建造到艺术升华的文明轨迹。无论是凹凸结合的形态美感、阴阳相合的文化意境、安全持久的抗震效能[1],还是自然淳朴材料特性,都蕴含着巨大的价值[2]。然而,由于受到现代建筑与家具产业中新材料、新工艺的冲击[3, 4],技艺传承逐渐失去了现实的支点。笔者依托国家级大学生创新实践项目,广泛地整理了大量与榫卯结构知识,依据系统的分类标准完成26个榫卯构件的数字化建模,通过Unity引擎完成虚拟仿真的交互功能,利用WebGL平台突破实体展陈的时空限制[5],让木工初学者和设计爱好者能方便快捷的学习榫卯结构的知识,直观地感受榫卯结构在方寸之间严丝合缝咬合的魅力,助力传统榫卯技艺的数字化传承。

2. 创建平台的背景和意义

2.1. 文化传承的现实困境

传统榫卯结构作为中华木作技艺的智慧结晶[6],其品类之丰与形制之妙堪称木构体系中的活化石。在当代跨领域应用中,榫卯结构呈现出显著的技术分化。古建修复领域仍恪守《营造法式》规制,采用全榫卯构架体系;现代家具制造则发展出标准化燕尾榫配合金属连接件的复合工艺;而在数字建造领域,参数化设计的异形榫卯已突破传统几何限制,可实现拓扑优化下的自适应咬合。

一方面,当前榫卯结构在分类维度缺失统一框架,从基础教学的角度缺乏跨学科整合,尤其在建筑与家具领域呈现割裂化特征,前者依据力学性能划分榫卯类型,如承重榫、抗剪榫,后者侧重工艺美术特征命名,如粽角榫、夹头榫;格角榫在建筑中归入框架节点,在明清家具中却作为装饰性构件单独分类。这种碎片化状态使得学习者需在不同领域重复建立认知体系,难以形成对榫卯本质特征的贯通理解。另一方面,传统榫卯结构的物理传播模式存在显著效率瓶颈,静态展陈与不可随意拆解物理教具对榫卯结构动态构造认知阻碍[7],更关键的是,匠人培养周期长与市场回报低的矛盾,使年轻群体望而却步,形成人才断层。

榫卯体系的非标特性始终是双刃剑,其文化密码的传承亟待建立系统化的分类标准与数字化档案,方能在科技浪潮中守护这份东方智慧的物质载体。榫卯结构只有与时代共振,才能保持时代活力[1],基于此,本研究将通过对榫卯结构的系统化分类和榫卯结构的数字化解决榫卯结构的传承困境。

2.2. 虚拟展陈的技术机遇

如今虚拟展陈的信息化技术逐渐发展成熟[8, 9],依托于三维建模与实时渲染技术,就可以将复杂的对象转化为可交互的数字模型。并且,基于实时渲染引擎与动态光照系统两大技术的应用画面表现力得到了突破进展,例如苏州博物馆苏色生活馆构建实时渲染技术数字场景,创新

演绎传统文化[10]。动态交互设计则进一步加强了虚拟现实视觉感受的深度,通过云端渲染与响应式设计,实现了多终端访问,例如博物馆“云展览”通过虚拟构件展品的模型,再用PC、手机等不同终端设备方便且专业的传播信息[11]。这种“轻量化接入+专业化呈现”的特性,使虚拟交互成为连接专业科研与大众科普的高效桥梁,让深邃的知识在指尖触碰中变得生动可感本研究正是基于成熟的虚拟展陈技术,将复杂的榫卯结构转化成三维可视化数字模型,助力榫卯结构在信息时代的传承。

2.3. 用户体验的互动需求

当前国内榫卯数字化平台普遍存在“碎片化展示、浅层交互”的瓶颈。以游戏APP《榫卯》为例,虽通过三维模型实现基础构件的拆解,但其展示停留于抽象地木结构拼接,视角不全面,不能够很好地解释其中的原理[12]。在纷繁的榫卯数字化平台背后却是持续扩张的市场需求与用户升级的体验诉求,在追求“工匠精神”的时代背景下国民对木工榫卯的学习热情极大,据统计“木工爱好者”网站有多达七十万的会员[13],由此用户对榫卯数字化平台有了更高要求,从平面到三维、更高精度的数字化建模、更强的交互系统甚至更全面系统的榫卯结构知识库,这些需求正在倒逼平台技术革新,从各方面提升平台的吸引力,让技术升级与用户提量形成良性循环。

本研究将以设计类专业基础实践教学为目的,从形态学和加工工艺角度,对榫卯结构系统化分类,并运用成熟的数字技术,创建传统榫卯构件虚拟展陈平台,形成一套文化要素的数字化传承体系,通过文艺解读夯实认知根基,三维模型解析工艺精髓,交互式拆卸组装激发实践潜能,形成研习闭环。力求打破师徒制局限,以趣味交互促进榫卯技艺低门槛传播,为非遗数字化传承提供可复用的轻量解决方案[14]。

3. 数字模型的及展陈环境美学表达与建构

3.1. 榫卯构件的系统性分类

为解决榫卯结构在各个领域存在名称纷繁散乱、缺乏统一归类的问题,从艺术视角出发,审视榫卯结构的组合特征,发现其材料形态在点、线、面的几何形式上存在差异,同时从功能性角度,榫卯结构的组合形态又具有相似性需求。因此本研究以形态学为基础将目前常用的基础榫卯结构划分为六类,包含:方材点接、三材交接、两面转折、两面拼接、插销和其他,希望构建一套较为清晰的分类框架,揭示榫卯构件在形态生成中的工艺加工逻辑,以及为未来归类的新榫卯结构的建立依据[15],如图1所示。

其中,方材点接类,包含经典的直榫、格角榫、齿榫、夹角榫等,两根木材的端头点对点地组合在一起,通过端头形态的凹凸变化,呈现力度与韵律的平衡;三材交接类,如粽角榫、互扣组合榫等,以三角形稳定性原理,塑造出具有几何美感的受力体系;两面转折类,如指接榫、抄手榫、燕尾榫等,通过木板面与面之间形态的转折实现空间变换,展现出动态平衡的艺术张力;两面拼接类,包含梳

齿榫、斜拼榫、龙凤穿戴榫等，实现木板面的延伸和加长；“销”，增加木材之间的接触面积和限制滑移的榫束方向。插销类，在组合的两个材料之外创作一个微小的结构件

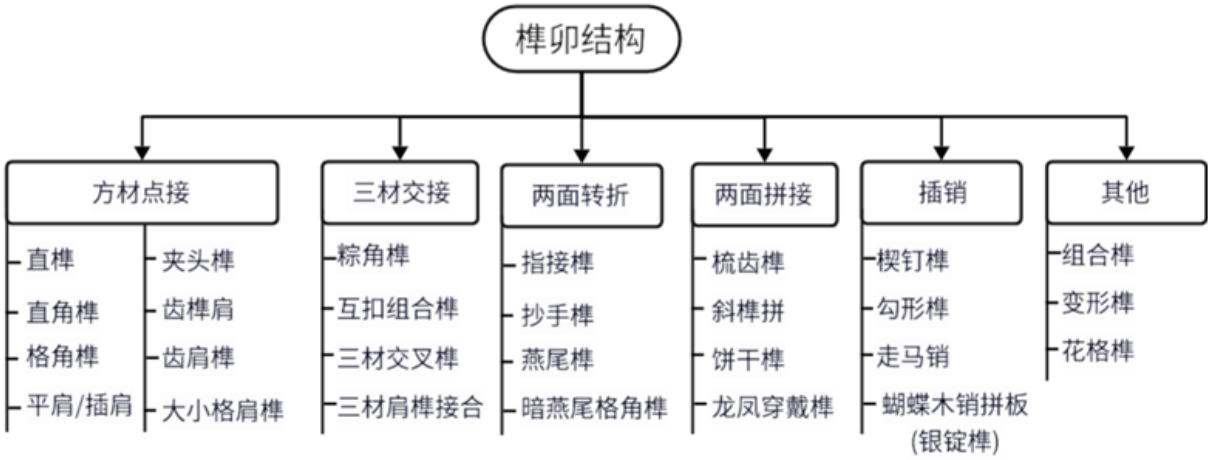


图1. 榫卯结构分类。

同时，榫卯结构还存在大量的装饰性元素和特色工艺，项目开发中也广泛地搜集资料、仔细地分析对比，综合归类到前面五大类中。其他类，跳出传统构造形式融合当代工艺，包含组合榫（基础榫卯形态的组合）、变形榫和花格榫（小尺度材料的网格组合）。另外，研究还为未来榫卯结构的发展预留了形态创新接口，可依据新发现或发明出的榫卯形态归类到六大分类中，进行数字化工艺迭代。这种分类方法不仅推动榫卯结构的系统化、规模化研究，使学习者的知识记忆更加清晰，更为榫卯艺术价值的现代诠释开辟了新路径。

3.2. 虚拟场景的设计搭建

项目基于用户对榫卯文化展示的复合型空间需求，构建了“主轴串联+组团互通”的虚实融合空间体系。设计以传统建筑美学为根基，通过走廊串联大厅、六个专题展区及互动体验区，各展区以组团式互通形成有机网络，既延续传统园林的观展韵律，又赋予现代动线的自主选择性。空间视觉体系以“古风木构”为核心的视觉体系，暖黄、木色与大理石灰的基调取自传统建筑彩画，空间入口展墙采用深色实木雕刻标题嵌入大理石基底，配合对称分布的浅

木色装饰墙体与盆景造景，形成强烈的视觉锚点(见图2)。另外，展陈系统的装置和背景装饰设计尤为考究：榫卯展柜或嵌入米色软包墙体的凹龕中，或置于展室中央，配合UI界面实现多维度展示。为强化空间的中式古典设计风格，部分墙面特别融入传统建筑中的菱形格纹元素，通过深浅木色的立体组合，在保持现代简约风格的同时唤醒传统建筑记忆。

环境场景通过rhino辅助建模，首先强调人体工学与空间叙事，通过第一视角反复验证空间尺度的舒适性。其次，考虑到虚拟展陈环境对比现实展陈空间对展品的布局要求更加灵活，保留了虚拟空间的虚幻效果和零重力特征，去掉了多余的装置物，设计了丰富的趣味性展示场景。光环设计方面，以东方美学“留白”为理念，采用分层照明策略打造沉浸式光效。入口聚光灯以15度倾角投射圆形光晕，确保标题清晰并增强空间叙事；展品用45度斜角光精准呈现榫卯结构，防眩光突显工艺；在氛围营造方面，运用“自下而上”的照明方式，地灯借盆栽枝叶投射墙面“疏影”剪影，诠释东方美学意境。最终形成“科技为骨，传统为魂”的空间气质，使榫卯结构的力学智慧与美学价值在光影交融中获得当代诠释。



图2. 系统场景。

3.3. 展品的三维建模及界面UI设计

在系统地运用多边形建模技术构建传统榫卯构件结构模型时，项目遵循严谨的几何造型流程。榫头采用渐缩式咬合形态，与卯眼内嵌倒角形成的负空间构成虚实相生的美学关系；在关键配合区域应启用表面细分修改器提升网格密度，通过顶点法线对齐和边缘流处理确保接触面的几何连续性，形成刚柔并济的视觉韵律。并且材质贴图以木质天然肌理为基底，通过纹理空间映射使木纹走向精准契合装配接缝，配合UV投射算法优化，在虚实过渡区域实现传统木作纹理的视觉连贯性。界面元素经法线统一化校准与高密度网格优化，达成工艺精度与自然肌理的和谐统一。

在UI界面设计中，项目深度挖掘并传承古风美学理念，将温润而富有质感的木色确立为贯穿整个界面的主色调。界面内的大色块元素采取浅淡的木纹纹理，色调温和、质地细腻，不仅从视觉层面为用户构建起一种古朴典雅、宁

静悠远的沉浸式体验氛围，同时在色彩的视觉层级上精准把控，确保其在整体布局中处于和谐统一的从属地位，不会因过于张扬而破坏整体的视觉平衡。菜单栏设置在整体界面边缘处，简洁明了、突出重点。字体选用方正颜宋简体，此款字体将宋代雕版印刷的古朴韵味与现代设计美学完美融合，结合深木色按钮背景，以清晰易读的形态展现信息，为界面注入独特的文化质感与艺术气息。从界面的细节处理来看，所有边角均采用了圆角设计减少突兀感。在视觉信息的呈现方面，通过对界面元素透明度的精细调节，利用不同透明度所产生的视觉差异，巧妙地引导用户视线，突出界面中的核心内容，使得界面信息呈现出主次分明的结构，用户在浏览界面时能够迅速捕捉到关键信息，有效提升了信息获取的效率，进而显著优化了用户与界面之间的交互体验，增强了界面的可用性与易用性，最终达成传统美学意境与现代交互逻辑的有机融合。

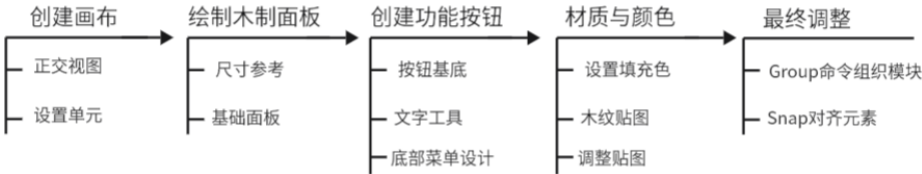


图3. UI设计流程。

4. 数字技术赋能文艺美学

4.1. AI助力三维建模

本项目共完成了26 个榫卯结构的数字三维建模，使用了专业建模软件 Blender进行辅助。由于Blender支持脚本编程功能，项目尝试运用AI帮助实现参数化建模及重复性流程优化。本研究采用DeepSeek智能辅助系统，基于自然语言交互的脚本自动生成功能，解析用户对话指令并输出定制化脚本，有效简化复杂操作流程。在具体实施中，通过集成DeepSeek API的百宝箱平台构建定制化应用模块，实现从需求描述到脚本代码的转化，用具体文字需求

来限定百宝箱定制化应用，并选择插件来丰富应用功能，显著降低技术应用门槛。

生成定制化应用后，将通过对话来完成脚本的生成。基于unity的UI设计需求，将每个榫卯结构和零件在blender中进行渲染操作生成图像。因此可以设计脚本一键在blender的3D视图中部署摄像头和光源，并支持用户自主选择光源数量和种类。基于“多种光源配置”“侧边栏集成”“摄像机”“一键生成”等核心需求，经过11轮对话驱动的优化迭代后，成功开发出功能完备的Blender脚本。最后将在blender的3D视图的侧边栏中生成一个Auto Setup选项，在选择了对象之后可以一键部署摄像机和光源，并对光源的种类和数量进行选择（见图4）。

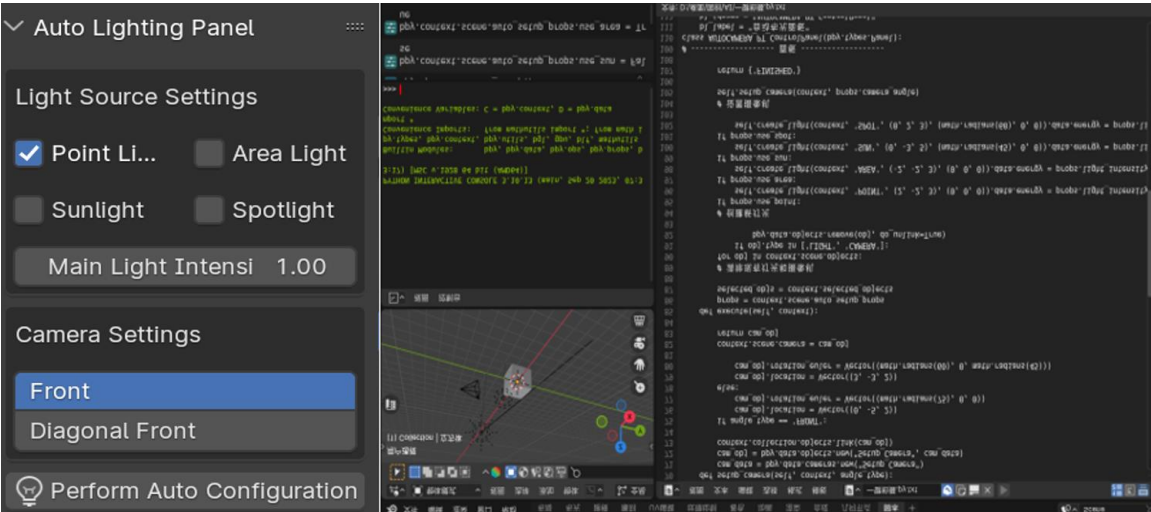


图4 光源部署图。

注意，在用DeepSeek写脚本建模的过程中，如果用DeepSeek生成脚本本来直接创建模型，往往效果会不尽人意。经过探究学习发现可以在Tripo AI的官网下载blender的插件并安装，利用Tripo AI来直接生成模型。在插件中既可以用文字描述来生成模型，也可以直接上传图片来让AI创建模型。但Tripo AI直接生成的模型无法直接使用，其往往有几万个面并具有较强的三角面，需要重拓扑减少面

数，并烘焙获得贴图，再重新对拓扑出的低模进行操作。如图5是对blender中AI插件界面的展示，同时上传开榫锯的照片，并附上了Tripo AI制作的开榫锯模型的图片。人工智能驱动的自动化建模技术通过算法架构重构了传统建模流程（见图6），其技术范式创新有效缩减了建模周期。

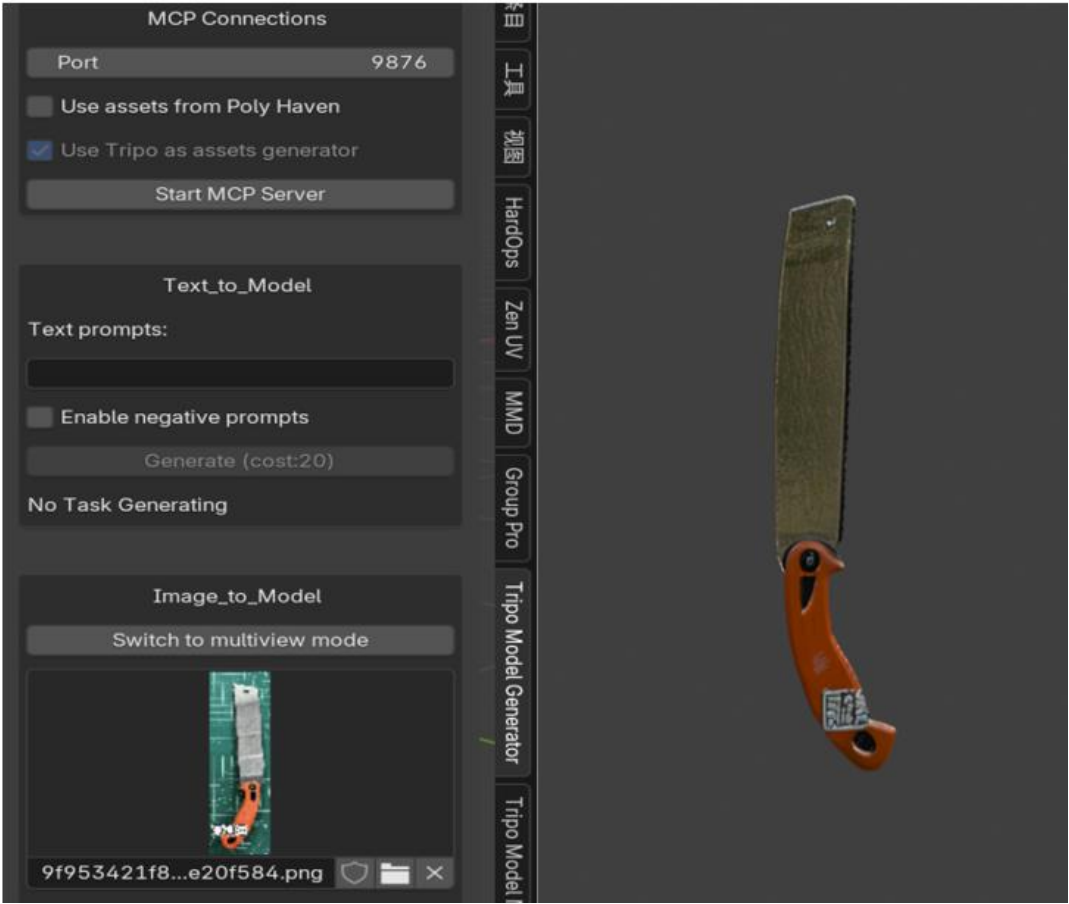


图5 开榫锯制作图。

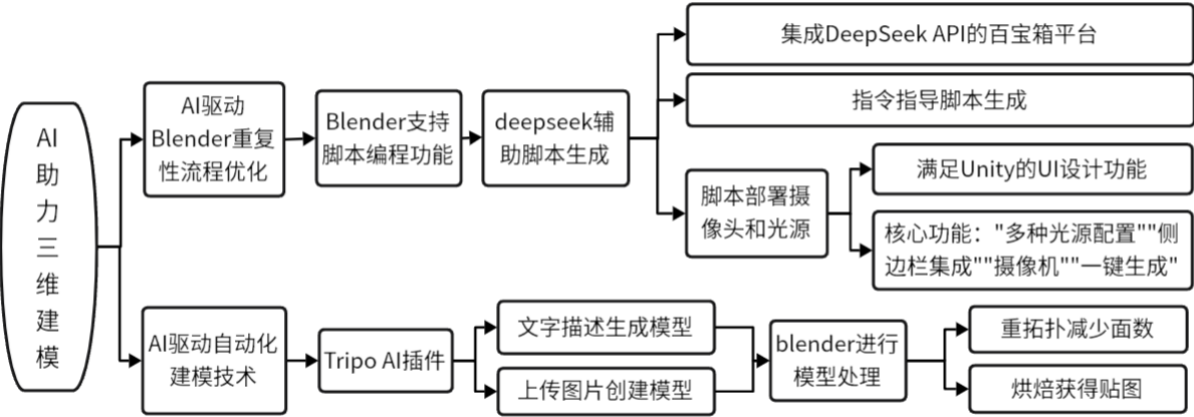


图6 AI辅助建模技术路径。

4.2. 榫卯模型动作交互的实现

本项目构建榫卯部件的智能吸附交互机制时，可根据用户选择有两种拼接方式：当拖拽榫卯部件接近目标位置

时，榫卯零部件在咬合位置产生一个虚影，然后松开鼠标吸附，提供视觉反馈；若榫卯部件已经在咬合位置时，松开鼠标吸附。这两种机制地实现，主要依靠脚Joint, Control以及碰撞体,tag标签实现，其中Joint和Control代码如下（见图7）：

```

    public class Control : MonoBehaviour
    {
        public GameObject go;
        public Vector3 offset;
        public bool isDragging=false;
        public static bool isDrag;
        public Vector3 dragOrigin;
        public Camera cam;
        public Collider co;
        //Unity 消息10 个引用
        private void Start()
        {
            go = this.gameObject;
            co = transform.GetComponent<Collider>();
            cam = transform.root.GetChild(0).GetComponent<Camera>();
        }
        //Unity 消息10 个引用
        private void Update()
        {
            Dragging();
        }
        //1 个引用
        public void Dragging()
        {
            if(Input.GetMouseButtonDown (0))
            {
                Ray ray = this.cam.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
                RaycastHit hit;
                if(Physics.Raycast (ray,out hit))
                {
                    if(hit.collider !=null&&hit.collider.gameObject ==go)
                    {
                        Vector3 Pos1 = hit.collider.gameObject.transform.position;
                        Vector3 Pos2 = Input.mousePosition;
                        Pos2.z = this.cam.WorldToScreenPoint(Pos1).z;
                        Pos2 = this.cam.ScreenToWorldPoint(Pos2);
                        dragOrigin = Pos1;
                        offset = Pos1 - Pos2;
                        isDragging = true;
                        isDrag = true;
                    }
                }
            }
            if(isDragging)
            {
                Vector3 Pos = Input.mousePosition;
                Pos.z = this.cam.WorldToScreenPoint(dragOrigin).z;
                transform.position = this.cam.ScreenToWorldPoint( Pos ) + offset;
                // Debug.Log(Pos+" "+Input.mousePosition );
            }
            if(Input.GetMouseButtonUp(0))
            {
                isDragging = false;
                isDrag = false;
            }
        }
        //0 个引用
        public void All()
        {
            co = transform.GetComponent<Collider>();
            if (co.enabled == false)
            {
                this.enabled = true;
                co.enabled = true;
            }
            else
            {
                co.enabled = false;
                this.enabled = false;
            }
        }
    }

```

```

2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using Unity.VisualScripting;
5
6  //Unity 脚本(90 个资产引用)10 个引用
7  public class Joint : MonoBehaviour
8  {
9      public GameObject virGo;
10     public GameObject jointGo;
11     public GameObject nowGo;
12     public Rigidbody rb;
13     public bool isDrag= Control.isDrag;
14     public bool canJoint = false;
15     //Unity 消息10 个引用
16     private void Start()
17     {
18         virGo = transform.GetChild(0).gameObject ;
19         nowGo = this.gameObject;
20     }
21     //Unity 消息10 个引用
22     private void Update()
23     {
24         isDrag = Control.isDrag;
25         if(canJoint &&!isDrag)
26         {
27             jointGo.transform.position = transform.position;
28             Debug.Log("拼接");
29             canJoint = false;
30         }
31         if(canJoint )
32         {
33             virGo.SetActive(true);
34         }
35         else
36         {
37             virGo.SetActive(false);
38         }
39     }
40     //Unity 消息10 个引用
41     private void OnTriggerEnter(Collider other)
42     {
43         if (isDrag&&nowGo.tag ==other.tag )
44         {
45             Debug.Log(other.tag);
46             jointGo = other.gameObject;
47             canJoint = true;
48         }
49     }
50     //Unity 消息10 个引用
51     private void OnTriggerExit(Collider other)
52     {
53         if(nowGo.tag == other.tag)
54         {
55             canJoint = false;
56         }
57     }
58 }

```

图7 Joint和控制代码。

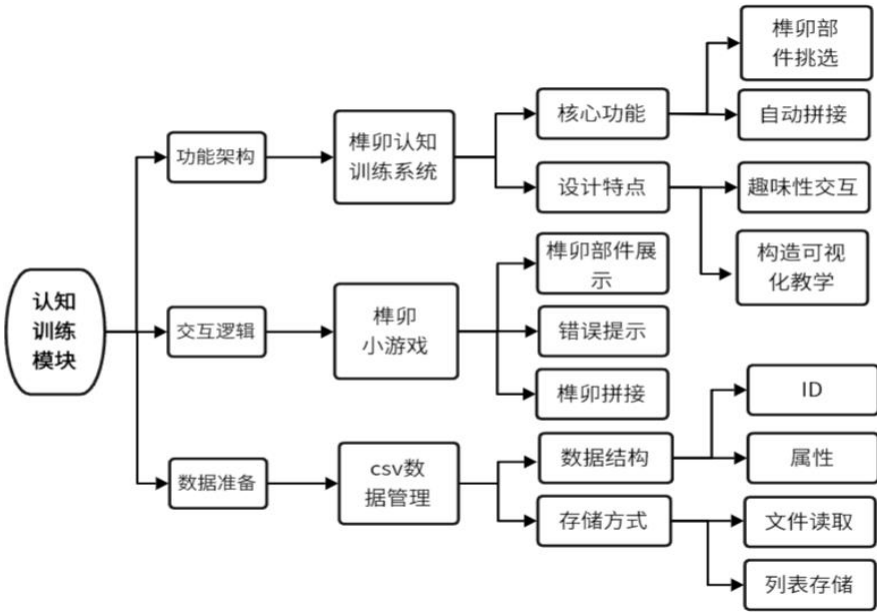


图8 棒卵认知训练模块开发原理。

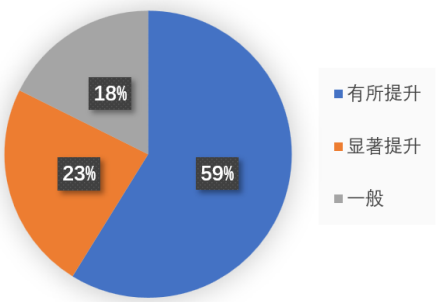
代码的交互逻辑是，通过control代码驱动零件位移，并实时传递拖拽状态参数bool至Joint脚本里，当物体激发碰撞体，系统核验碰撞体预设标识符（Tag）与目标位置匹配度，若校验通过则原来位置的榫卯零件出现，并在释放操作时执行磁吸装配。

本研究还开发榫卯认知训练模块（见图8），基于csv构建参数化数据库，用户从模块化组件库遴选合规构件后，系统通过榫卯认知验证模块判断是否正确选取榫卯结构组合，此功能带有一定的趣味性和阶梯性难度，激发用户积极参与的同时帮助用户更深入的理解榫卯的构造和不同榫卯零件的差别。这榫卯拼接和榫卯筛选功能都注重于让用户深刻的了解榫卯的构造，了解不同榫卯的结构差异，学习不同的榫卯；每一个子场馆都有对于每个榫卯详细的文字讲解，对于想进一步了解榫卯结构知识的人群也可以浏览和学习。此外，本研究放弃了传统的物理碰撞系统，且任意榫卯结构部件都可以360°无死角转动，让用户建立愉悦感与知识获取的正向反馈循环[14]，是一种全新的技术尝试。

5. 系统测试与评估

随着虚拟展陈平台数据规模的显著增加，网站访问延迟问题逐渐凸显。为系统验证该平台在用户体验维度和功能模块的实际效能，并为后续数据优化提供实证依据，项目组联合目标用户通过问卷调查进行了系统的测试与评估。如图9，数据显示，80.49%用户对平台丰富性表示满意，82.35%用户认可平台加强了对榫卯知识的了解，印证了三维交互对知识传递的显著促进作用。然而，部分操作细节需优化：42.62%用户反馈“视角切换不流畅”，另有用户指出“加载速度慢”“操作不够直观”“导航不够清晰”等问题，反映交互逻辑与视觉表现力仍有提升空间。此外，用户建议聚焦功能拓展，如“增加视频讲解”、“互动问答”等，表明深度解析与更具互动性的设计是未来迭代重点。综合评估表明，平台在榫卯结构可视化教学与沉浸式体验上具备创新价值，但后续应通过技术调优与内容扩充平衡功能完善与用户体验。

使用平台后，用户的榫卯知识提升程度



缺乏的交互需求

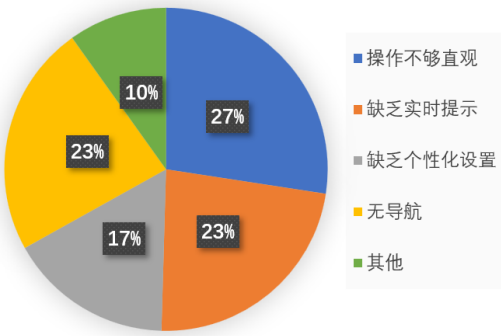


图9 部分问卷结果。

6. 结语

本研究通过艺术设计与数字技术相结合，构建传统榫卯结构虚拟展陈交互平台，有效突破实体展陈的时空局限[16]，基于形态学创新了榫卯结构的系统化分类模式，通过三维可视化解析与沉浸式体验，降低了榫卯知识学习难度，增强了学习的趣味性，并且验证了AI辅助建模（DeepSeek脚本生成+Tripo AI重拓扑）对复杂工艺数字化的可操作性，有效地缩短建模周期，为文化遗产数字化提供可行性路径。

但是，平台因数据负载过大导致WebGL访问延迟，且缺乏物理仿真等，限制了深层次的实操衔接。鉴于此，本项目将优化数据压缩并计划推出跨平台桌面应用、同步开发物理仿真引擎等，未来还将持续优化交互界面与功能设计，拓展榫卯结构乃至建筑文化相关的实践教学资源库，深化与教育机构的合作，探索“虚拟交互-现实验证”的双向赋能模式，推动传统榫卯结构的数字化传承与创新，让这项凝聚古人智慧的工艺在新时代焕发新生。

参考文献

[1] 张一承, 朱兆阳, 贾东. 数字建造背景下榫卯传承的当代探索——圆榫圆卯的数控制作研究 [J]. 古建园林技术, 2021, (05): 91-95.

[2] 崔曼丽. 非遗榫卯技艺在当代艺术设计中的创新与运用 [J]. 天工, 2024, (19): 61-63.

[3] 张昌军, 王祺, 刘新有. 榫卯结构在儿童玩具设计中的智能化交互应用 [J]. 设计, 2022, 35(21): 126-128. <https://doi.org/10.20055/j.cnki.1003-0069.000280>

[4] 常日东, 徐健, 张鑫. 基于“互联网+”的榫卯数字化保护与推广 [J]. 信息技术与信息化, 2020, (02): 84-86.

[5] 杨黎黎, 李卓玥, 吴瑶, 等. 基于Unity3D数字技术创建建筑模型智慧博物馆 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(11): 113-118. <https://doi.org/10.19927/j.cnki.syyt.2023.11.023>

[6] 周鑫龙, 马越, 姚诺. 传统榫卯结构的现代化应用创新的研究进展 [J]. 大众文艺, 2024, (05): 40-42. <https://doi.org/10.20112/j.cnki.ISSN1007-5828.2024.05.014>

- [7] 王茜, 汪莉莉, 陈艾. 虚拟装配技术在榫卯结构的应用研究 [J]. 设计, 2013, (12): 163-164.
<https://doi.org/10.20055/j.cnki.1003-0069.2013.12.059>
- [8] 李鑫. 从数字博物馆到智慧博物馆的发展趋势与挑战 [J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021, (11): 124-126.
- [9] 崔健, 喻向天, 张赛昆, 等. 基于Blender建模和Unity3D场景构建的PLC虚拟仿真实验教学平台 [J]. 中国设备工程, 2023, (23): 266-270.
- [10] 沈汀. 中国传统小木作工具数字化传播设计研究 [D]. 南京林业大学, 2024.
<https://doi.org/10.27242/d.cnki.gnjlu.2024.000782>
- [11] 黄洋. 博物馆“云展览”的传播模式与构建路径 [J]. 中国博物馆, 2020, (03): 27-31.
- [12] 邹忠良. 榫卯结构家具虚拟交互教学系统的设计与实现 [D]. 北京工业大学, 2016.
- [13] 马利波. 交互设计在虚拟明式家具装配展示中的应用研究 [D]. 北京工业大学, 2016.
- [14] 肖永杰. 基于AR技术的榫卯科普游戏交互设计 [J]. 包装工程, 2025, 46(04): 436-446.
<https://doi.org/10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.04.042>
- [15] 杨黎黎, 黄海静, 刘蕴仪, 等. 基于数字技术创建交互式实验教学资源的实践与探索 [J]. 高等建筑教育, 2024, 33(04): 92-99.
- [16] 王妍, 朱俐微, 巩新龙. 基于具身认知的博物馆虚拟展陈交互设计研究 [J]. 设计, 2023, 36(04): 138-141.
<https://doi.org/10.20055/j.cnki.1003-0069.000478>