



# 虚实结合液压传动与控制实验教学系统设计

张俊, 叶龙, 刘丽, 吴央芳

(浙大城市学院 工程省级实验教学示范中心, 杭州 310015)

**摘要:** 随着信息技术、虚拟现实技术的快速发展, 其在教育领域的应用也越来越广泛。为解决当前液压传动与控制课程理论教学内容抽象、实验教学设备紧缺等问题, 以当前理论教学内容及实验教学设备为基础, 基于 Unity3D 开发了一套虚实结合的液压传动与控制实验教学系统。系统针对液压理论课程教学、液压回路实验教学设计了结构展示与虚拟拆装、液压实验案例和现场实验 3 大模块, 实现了包括视角交互、模型选中反馈、自动拆装、运动仿真、流体仿真、回路仿真等一系列功能。系统在调试发布后通过一轮课程的验证, 获得了良好的运行及使用效果, 在优化教学体系的同时大大提高了课程教学效率。

**关键词:** 液压; Unity3D; 虚实结合; 实验教学

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230608

## Design of Experimental Teaching System for Hydraulic Based on Combination of Virtuality and Reality

ZHANG Jun, YE Long, LIU Li, WU Yangfang

(Provincial Experimental Demonstration Center for Engineering Education, Hangzhou City University, Hangzhou 310015, China)

**Abstract:** With the rapid development of information technology and virtual reality technology, its application in the field of education is more and more extensive. In order to solve the problems of abstract teaching content and shortage of experimental teaching equipment in the current course of hydraulic transmission and control, a set of virtual-real hydraulic transmission and control experimental teaching platform is developed based on the current theoretical teaching content and experimental teaching equipment. Aiming at hydraulic theory course teaching and hydraulic loop experiment teaching, the platform designs three modules: structural display and virtual disassembly module, hydraulic experiment case module and field experiment module, which realize a series of functions including perspective interaction function, model selection feedback function, automatic disassembly function, fluid simulation function and so on. After the debugging and release of the platform, through a round of course verification, good operation and use effect has been obtained, which has greatly improved the teaching efficiency while optimizing the teaching system.

**Key words:** hydraulic; Unity3D; combination of virtuality and reality; experimental teaching

随着互联网技术与信息产业的迅速发展, 传统 PPT 与板书相结合的教学方式已经开始向教育信息化的方向转变<sup>[1]</sup>。液压传动与控制是机械类专业重要的专业基础课。在该课程的日常教学中, 各类液压控制阀及液压油泵结构较为复杂, 在传统的 PPT 和课本相结合的教学模式下, 学生掌握相关知识点存在一定困难<sup>[2-3]</sup>。虚拟现实 (virtual reality, VR) 是一种结合计算机图形学、传感器技术及人工智能等多领域成果的新技术, 可达到视

觉、听觉甚至触觉与真实世界相似的感受; 增强现实 (augmented reality, AR) 是对真实世界的加强, 可将合成的感觉信息融合进用户对真实世界的感知中<sup>[4-7]</sup>。将 VR、AR 技术应用到课程实践教学, 正逐渐成为高校教学改革的一个重要方向<sup>[8-9]</sup>。

国内外将虚拟现实和增强现实技术运用于教育教学领域已经有了一定的研究。文献 [10] 搭建了一种应用于消失模实验教学的虚拟仿真系统, 在 PC 端和 HTC Vive 端获得良好的应用效

收稿日期: 2023-12-20; 修回日期: 2024-04-01

基金项目: 浙江省高校实验室研究项目 (YB202331); 浙江省“十三五”高校虚拟仿真实验教学项目 (387); 浙江省劳动教育一流本科课程建设项目 (81 工程训练)。

作者简介: 张俊 (1983-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事虚拟仿真技术的应用与研究。E-mail: zucczj@163.com

果。文献 [11] 借助 Zspace 桌面虚拟现实设备，基于 Unity3D 开发了一套齿轮减速器拆装系统。文献 [12] 利用 Unity3D 和 Vuforia 增强现实插件，开发了一款工程图学教学辅助软件。文献 [13] 以 C# 语言开发了一款手机端机械产品虚拟拆装系统，可进行 AR 拆装展示。文献 [14] 基于增强现实开发了一种用于中风患者的上肢运动康复系统，利用虚拟的三维手臂代替瘫痪的手臂以帮助患者康复。文献 [15] 利用“source”引擎设计了线上 3D 虚拟实验系统，学生能在 3D 虚拟环境装配机构和了解运动规律和机械原理。本成果基于 VR、AR 技术，利用 Unity 和 Vuforia 增强现实引擎，开发一套虚实结合液压传动与控制实验教学系统，在充分发挥 VR、AR 技术的沉浸性和交互性特点的

同时，解决实验设备台套数量不足的问题，优化教学体系、提高教学效率。

## 1 实验教学系统总体设计

### 1.1 系统总体框架设计

根据实验课程教学内容要求，结合虚拟现实教学特点，本实验教学系统包括虚拟仿真实验平台和现场实验教学平台两大部分。

虚拟仿真实验平台设计了结构展示与虚拟拆装、液压实验案例两大模块。结构展示与虚拟拆装模块包括自动拆装仿真、部件运动仿真、液压流体仿真等功能模块；液压实验案例模块包括 AR 扫码实验预习、进口节流调速实验等功能模块。系统总体框架如图 1 所示。

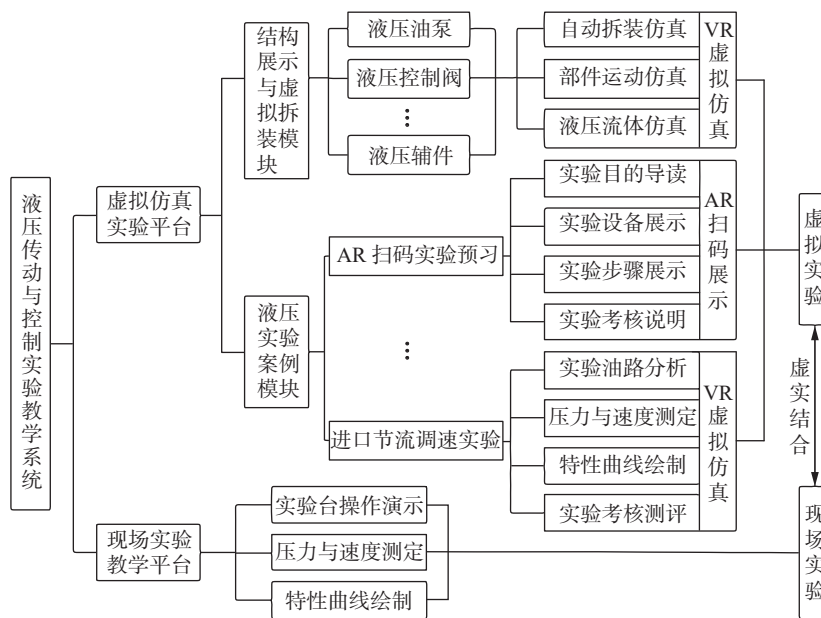


图 1 系统总体框架图

### 1.2 系统开发工具

系统开发选用具有良好的平台移植性和实现效果的虚拟现实开发引擎 Unity3D；增强现实选用 Vuforia 插件；三维建模选用 Solidworks 软件；模型渲染和优化软件选用 3ds Max；动画制作选用 DOTween 插件以提高补间动画的制作效率。具体开发工具及功能如表 1 所示。

表 1 系统开发工具及功能

开发工具	功能
Unity3D	系统开发
Vuforia	AR功能实现
Solidworks	模型创建
3ds Max	渲染优化
C#	脚本编写
DOTween	动画制作

## 2 系统开发和实现

### 2.1 系统开发流程

通过分析课程实验教学流程并结合各项开发工具功能完成开发流程拟定，如图 2 所示。利用 Solidworks 建立各元件三维模型并完成装配；将装配体文件以 STEP 格式导入 3ds Max 中进行模型优化与坐标轴调整；将优化调整后的模型以 FBX 或 MAX 格式导入 Unity3D 中，最后完成各功能模块、脚本、图形用户界面等部分的开发；通过 PC 端和移动端的发布可最后检验呈现的效果。

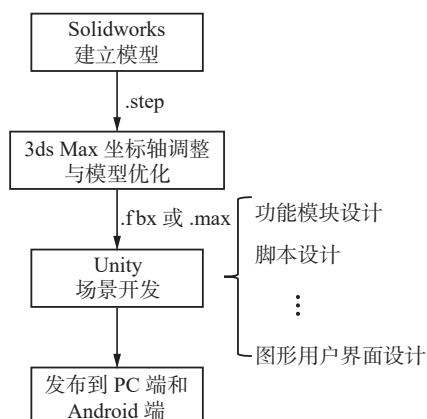


图2 系统开发流程图

## 2.2 登录界面及图形界面设计

### 1) 登录界面设计

系统登录界面包含用户名和密码的输出框、登录按钮、标题等基本 UI 元素。通过脚本读取用户名和密码输入框里的字符串, 并进行匹配, 点击登录按钮进入系统。登录界面实现效果如图 3 所示。



图3 登录界面效果图

### 2) 图形用户界面创建

Unity3D 图形用户界面包括 NGUI 与 UGUI, 本系统选用可自适应屏幕分辨率的 UGUI 设计图形界面。开发流程为: 在场景中创建 Canvas 画布和 Event System 事件系统, 同时创建相对应 UI, 赋予 Canvas 画布 Canvas Scaler 组件自适应分辨率功能, 并将默认分辨率设置为 1080 P, 可实现自动适应调整 UI, 进一步将 Match 选项的参数值调整到 0.618, 可达到分辨率改变时 UI 界面的最佳美观效果。图形用户界面部分实现效果如图 4 所示。

### 3) 场景切换功能实现

系统由基础的各层级场景组成, 通过层级切换按钮进行场景切换。开发流程为: 使用 Using UnityEngine.SceneManagement 语句调用 Unity3D

场景管理器语句库中的 SceneManager.LoadScene() 即可完成对场景的切换。同时, 使用套壳法可让函数准确被按钮识别。

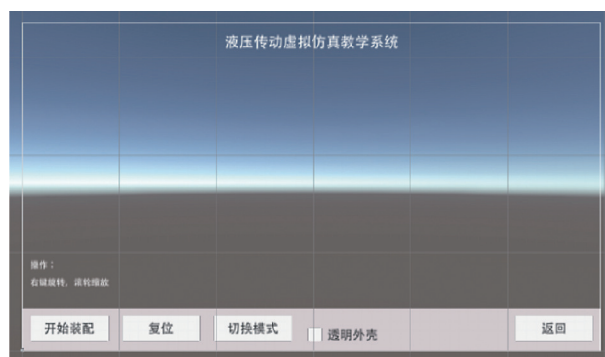


图4 图形用户界面部分实现效果图

## 2.3 结构展示与虚拟拆装模块开发

### 1) 三维模型的创建与优化

系统液压元件包含液压泵、液压控制阀和液压辅助元件 3 大类, 如图 5 所示。具体包括电磁换向阀、齿轮泵、叶片泵、柱塞泵、溢流阀、节流阀和蓄能器等。通过 Solidworks 建立基础元件库, 便于将模型应用于多个场景中, 在优化资源配置的同时节省开发时间。

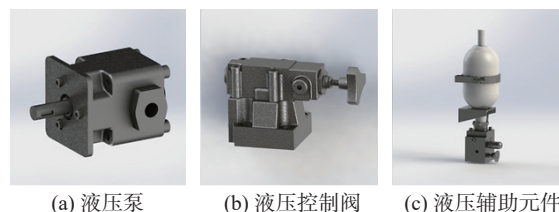


图5 系统液压元件模型

模型创建及优化流程如下: 利用三维建模软件 Solidworks 进行各零件建模并组装成装配体, 导入 3ds Max 后将装配体各部分坐标轴调整对齐。对于复杂模型如齿轮、蜗轮蜗杆, 利用 3ds Max 的优化功能减少三角面的数量, 提高在 Unity3D 中的渲染效率。模型创建与优化流程图如图 6 所示, 坐标轴调整对齐效果如图 7 所示。

### 2) 虚拟场景搭建

虚拟场景是虚拟仿真平台的基础单元。把经 3ds Max 优化的模型导入 Unity3D 资源库中, 将其应用到场景面板后生成模型实例, 完成虚拟场景的搭建。通过手动创建并添加不同材质球的方式可获得良好的场景渲染效果。

### 3) 视角交互功能实现

用户与系统的交互由视角交互功能实现。通

过编写 C# 脚本，Mono Behaviour 中的 Input.GetAxis() 函数获得鼠标移动和滚轮的输入数据，挂载脚本到主摄像机上，实现滚轮缩放、右键旋转的视角交互功能。视角交互设计流程图如图 8 所示。

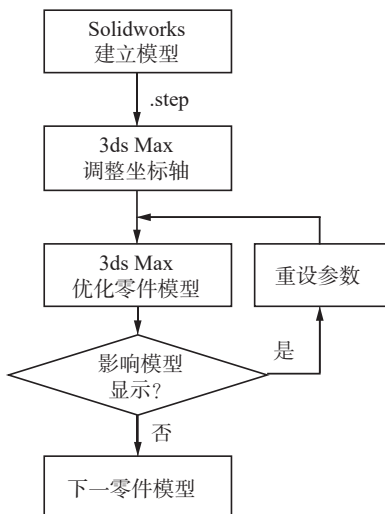


图 6 模型创建与优化流程图

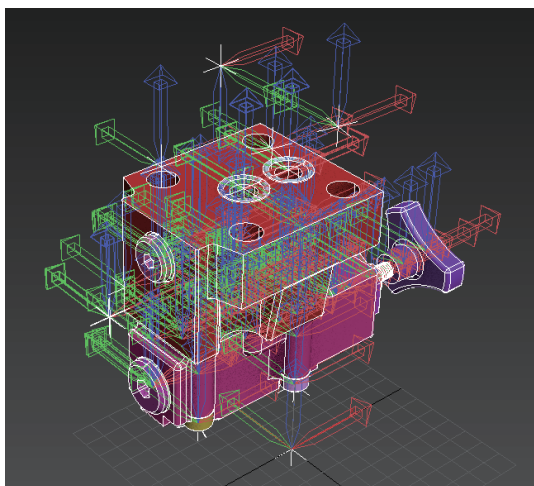


图 7 坐标轴调整效果图

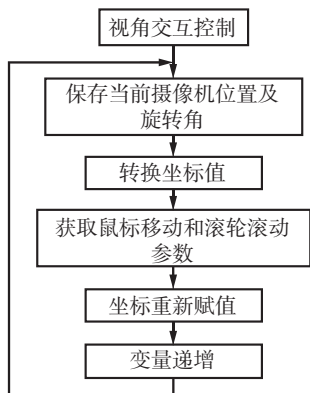


图 8 视角交互设计流程图

#### 4) 模型选中反馈功能实现

选中反馈功能通过射线检测来实现。从摄像机屏幕指向鼠标所在位置设定一条射线，当射线碰撞到模型时改变颜色，完成选中反馈，实现效果如图 9 所示。

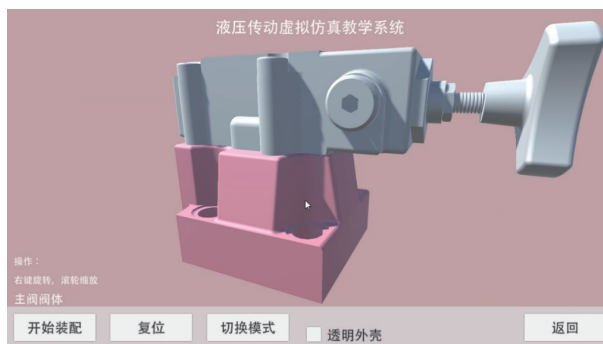


图 9 模型选中反馈功能实现效果图

部分代码如下。

```

if (Physics.Raycast(ray, out hit))
{
    hit.transform.GetComponent<Renderer>().material.color = _ChangeColor;
}
  
```

#### 5) 自动拆装功能实现

自动拆装功能的核心是各零件按一定的时序完成拆卸和装配。通过管理器控制拆装动画最小单元的启用与停止，实现自动拆装功能。同时，使用 DOTween 插件制作拆装补间动画可提高拆装脚本效率。自动拆装功能实现效果如图 10 所示。

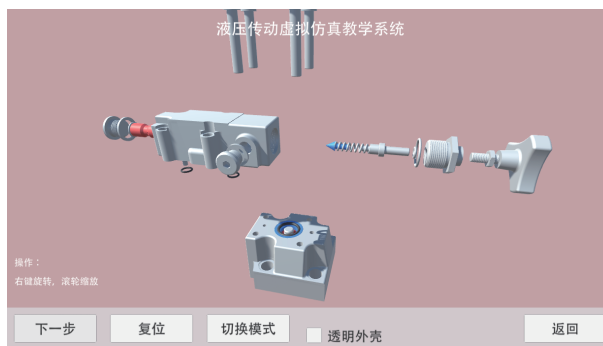


图 10 自动拆装功能实现效果图

#### 6) 运动及流体透视仿真功能实现

通过脚本使模型绕轴旋转并添加转速可达到运动仿真的效果。部分代码如下。

```

if (Rotate_AnotherPoint)
    transform.RotateAround(AnotherPoint.transform.position, RotateAxis, Rotate_Speed);
  
```

利用 Trail Renderer 拖尾渲染器对模型添加动画, 通过编辑拖尾参数可实现运动拖尾效果, 从而实现流体仿真。通过建立弥散透明材质球并应用到模型上可实现元件透视功能。透视元件结合流体仿真, 便于实验者看清内部结构及流体流动情况。实现效果如图 11 所示。

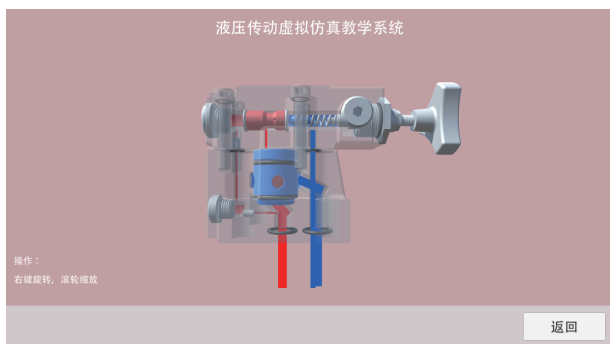


图 11 运动及流体透视仿真功能效果图

## 2.4 液压实验案例模块开发

### 1) AR 实验预习实现

实验预习模块主要包含各类型的实验课程资料, 其中包括实验目的与原理、实验仪器与设备、实验方法与步骤、实验要求与结果考核 4 大部分。

预习模块通过编写实验预习管理器实现, 并使用按钮实现翻页和切换。实现效果如图 12 所示。



图 12 实验预习功能实现效果图

在实验预习模块中, 通过 Vuforia 增强现实插件开发可实现手机 APP 扫描二维码, AR 显示和浏览液压元件及相关文字说明的功能, 运用移动端完成实验项目的提前预习。部分效果如图 13 所示。

### 2) 节流调速回路实验系统实现

节流调速回路实验是液压传动与控制实验教学中的一个重要实验项目。根据控制阀在回路中

的不同位置, 分为进口节流调速回路、出口节流调速回路、旁路节流调速回路和调速阀节流调速回路。本系统以进口节流调速回路为例, 开发虚拟仿真实验系统。

进口节流调速回路实物实验台及原理图如图 14 所示。根据原理图以及实物实验台结构要求, 在虚拟实验场景放置各液压元件, 并通过直管道、直角管道和 T 型管道将元件相连, 完成虚拟实验平台搭建。效果如图 15 所示。

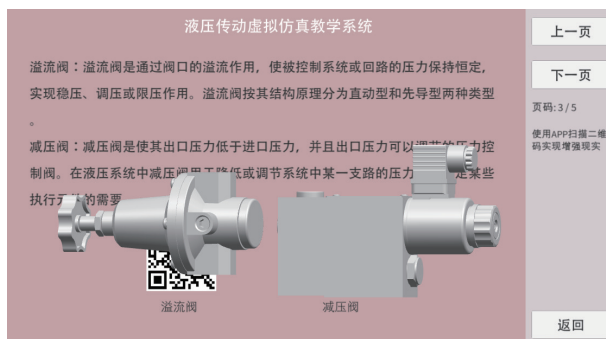


图 13 AR 预习功能实现效果图

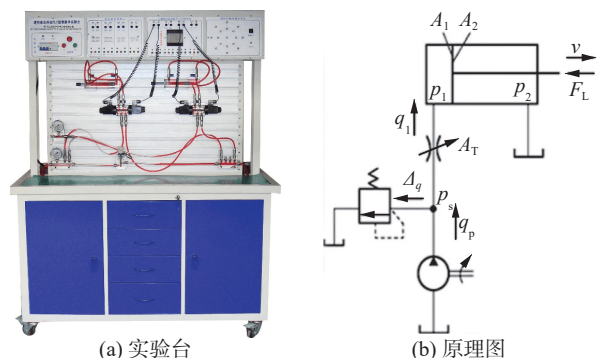


图 14 进口节流调速回路实物实验台及原理图

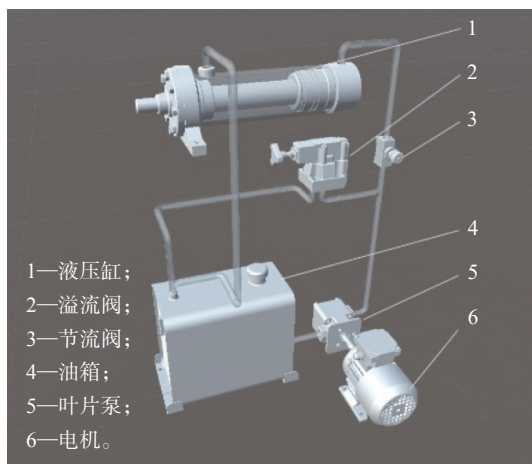


图 15 进口节流调速回路虚拟实验台

基于上述模拟实验台，通过编写实验模拟管理器程序，读取用户在 UI 界面输入的参数并处理后判断回路液压油流动情况，而后通过调用并播放动画实现液压油的流动及活塞的运动。同时，UI 界面显示液压泵工作压力、活塞运动速度以及特性曲线等。进口节流调速回路实验系统实现流程图如图 16 所示，实现效果如图 17 所示。

### 3) 实验考核测评功能实现

该模块用于检验实验教学效果。学生可通过完成考核测评的试题巩固本次实验的相关知识点。本功能通过脚本与 GUI 相结合的方式实现选择题为主的试题功能开发。实现效果如图 18 所示。

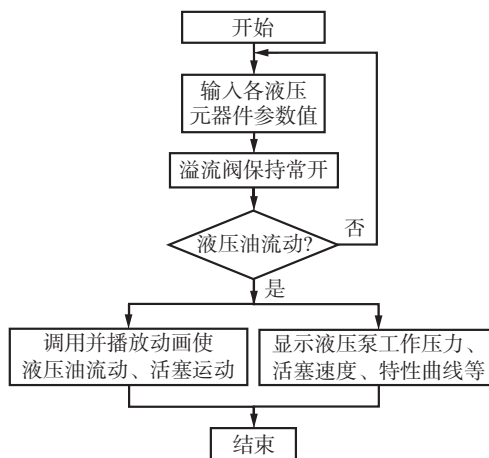


图 16 进口节流调速回路实验系统实现流程图

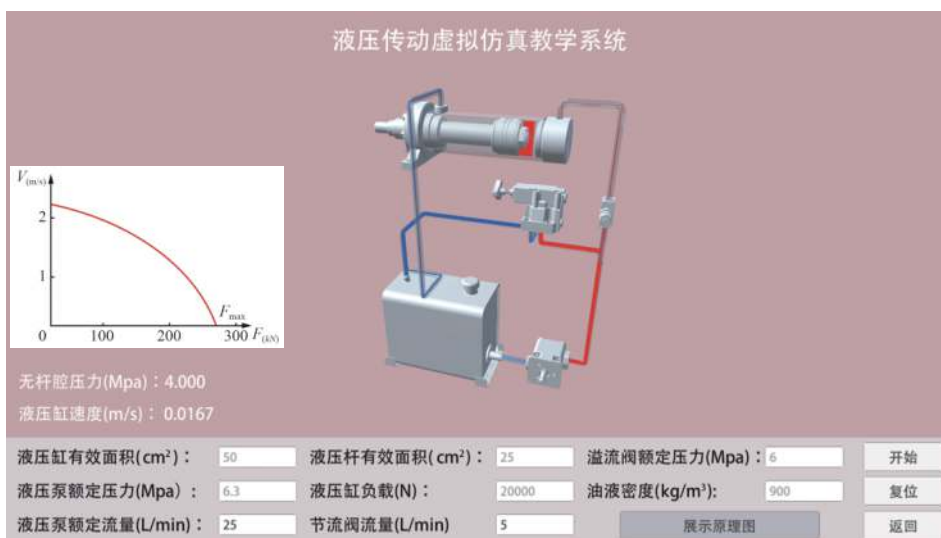


图 17 进口节流调速回路实验案例实现效果图

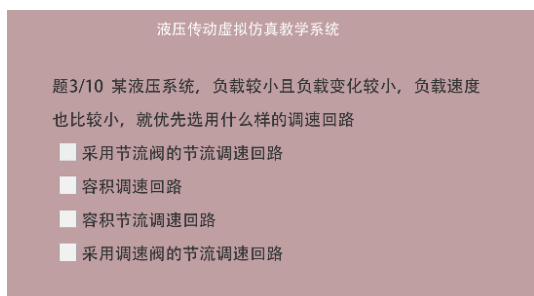


图 18 考核测评功能实现效果图

## 3 虚实结合液压传动与控制实验设计

结合当前液压传动与控制实验课程教学要求，以现有实物实验台和自主开发的虚拟仿真实验系统为基础，完成虚实结合的液压传动与控制实验课程调速回路实验项目的设计，实验设计如下。

1) 实验目的是熟悉液压元件结构及原理；熟悉实物液压实验平台及虚拟液压实验系统的运行原理；对比分析虚实两种节流调速回路的实验数据及速度-负载特性曲线。

2) 实验设备有实物液压实验平台、虚拟液压实验平台。

3) 实验步骤如下：

① 课前利用开发实验教学系统“结构展示与虚拟拆装模块”完成溢流阀及其他各元器件的结构认知及原理学习；

② 课前利用开发实验教学系统“液压实验案例模块”的 AR 扫码实验预习功能完成实验项目的预习工作；

③ 课中利用“液压实验案例模块”完成节流调速回路虚拟仿真实验，实时生成速度及负载压力数据及相应曲线；

④ 利用实物液压实验平台完成节流调速回路实验,获得速度及负载压力数据并绘制相应曲线;

⑤ 分析比较虚拟仿真实验与现场实物实验的数据结果。

4) 记录和对比在虚拟仿真和现场实验中的液压缸速度值、负载压力值和速度-负载特性曲线。

#### 4 结束语

依托虚拟现实技术,在分析当前传统实验教学困境的基础之上,运用液压课程、建模类课程以及编程类课程的相关知识,以实物液压实验台为基础,运用 Unity3D 开发了一套虚实结合的液压传动与控制虚拟仿真实验教学系统。虚实结合的模式,充分发挥了虚拟技术沉浸性和交互性的特点,同时解决了实验台套数不足、实验耗材高等问题。既可作为教师理论及实验课程的辅助工具,又方便了学生课前及课后的自主学习,在优化教学体系的同时大大提高了教学效率。

虚实结合液压传动与控制实验已列入液压传动与控制实验教学大纲,每年可为近 120 名本科生提供实验教学支撑,学生评教反馈效果良好。同时,该系统作为浙江省省级虚拟仿真实验教学项目开发的一个子项目系统,已发布至学校虚拟仿真实验教学云平台,面向校内师生开放,实现了优质教学资源的共享。在此基础之上,下一步将着重于丰富液压实验案例的种类和数量,进一步完善系统功能和操作细节,不断改善实际操作体验,并逐步向校外推广,扩大该实验教学系统的共享应用范围。

#### 参考文献

[1] 梁利. 现代信息技术与高等教育的整合机制研究[J]. 教育现代化, 2019, 6(71): 189-190.  
 [2] 孟爽,金向阳,李德溥,等. 基于新工科背景下液压与气压传动的在线教学设计与实践[J]. 机械设计, 2020,

37(S2): 274-276.  
 [3] 杨秀萍,胡文华,徐晓秋. 液压专业课的虚拟仿真实验教学[J]. 液压与气动, 2021, 45(11): 112-116.  
 [4] 周忠,周颐,肖江剑. 虚拟现实增强技术综述[J]. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(2): 157-180.  
 [5] 王琳,贾国良,李怡欣,等. 单缸内燃机拆装与机械结构分析虚拟仿真实验开发和教学设计[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(2): 39-43.  
 [6] 张俊,孙树礼,吴央芳. 基于 Unity3D 的 RV 减速器虚拟仿真系统研发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(9): 120-123.  
 [7] 卓莉,万里. 基于 Unity3D 的液塑限含水率虚拟实验设计与实现[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(5): 29-34.  
 [8] 彭其渊,李力,文超,等. 面向协同决策能力培养的轨道交通虚拟仿真实验教学改革[J]. 高等工程教育研究, 2022(4): 81-85.  
 [9] 张俊,吴央芳,张天宇. 基于虚拟技术的机械基础实验教学平台设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(4): 179-183.  
 [10] 范淑媛,廖敦明,凌东鑫,等. 基于 Unity3D 的消失模铸造虚拟现实系统研发[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(5): 108-113.  
 [11] 朱文华,蔡宝,石坤举,等. 虚实结合的减速器拆装的研究[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(11): 98-102.  
 [12] 于勇,赵罡,李亚初. 增强现实技术在工程图学教学中的应用[J]. 图学学报, 2018, 39(1): 175-178.  
 [13] 吴庆云,杜江,乔虎,等. 基于 Unity3D 的机械产品拆装系统在手机终端的实现[J]. 机械与电子, 2018, 36(1): 44-47.  
 [14] KLEIN A, DE ASSIS G A. A markerless augmented reality tracking for enhancing the user interaction during virtual rehabilitation[C]//2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality. Cuiaba-Mato Grosso, Brazil: IEEE, 2013: 117-124.  
 [15] AZIZ E S S, CHANG Y, ESCHE S K, et al. A multi-user virtual laboratory environment for gear train design[J]. Computer Applications in Engineering Education, 2014, 22(4): 788-802.

编辑 葛晋