

# 基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统

徐佩<sup>1</sup>, 郭迎春<sup>1</sup>, 孙颖<sup>2</sup>

<sup>1</sup>江苏海洋大学海洋工程学院, 江苏 连云港

<sup>2</sup>江苏海洋大学商学院, 江苏 连云港

收稿日期: 2024年4月11日; 录用日期: 2024年5月11日; 发布日期: 2024年5月22日

## 摘要

在传统螺旋桨敞水试验和空泡试验教学模式下, 受限于各种条件的约束, 学生只能在限定的时间和地点, 利用限定的试验设备, 观察特定的试验内容, 极大地制约了对学生动手能力及工程创新能力的培养。而虚拟仿真技术的发展, 克服了传统的试验教学模式短板, 使得不受试验设备、时间和空间的智能教学系统得以实现。本文基于Unity 3D虚拟引擎和3ds Max三维建模软件搭建可视化交互场景, 以空泡水筒为原型, 利用Visual Studio Code软件, 使用C#脚本语言为开发工具进行螺旋桨敞水试验和空泡试验虚拟仿真试验系统的搭建, 实现了第一人称自由漫游, 动手组装设备, 零距离观察装置, 试验数据分析等功能。船舶推进试验系统使学生更加了解螺旋桨敞水试验和空泡试验的原理、设备功能以及试验结果的应用价值等, 实践能力和思考能力得以锻炼, 同时该系统在很大程度上节省了教学资源, 提高了教学质量和学习效率, 在船舶教育教学中具有很强的应用前景和研究价值。

## 关键词

虚拟仿真, 螺旋桨敞水试验, 螺旋桨空泡试验, 试验教学, 仿真开发

# Ship Propulsion Experimental Teaching System Based on Virtual Reality

Pei Xu<sup>1</sup>, Yingchun Guo<sup>1</sup>, Ying Sun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Ocean Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang Jiangsu

<sup>2</sup>School of Business, Jiangsu Ocean University, Lianyungang Jiangsu

Received: Apr. 11<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 11<sup>th</sup>, 2024; published: May 22<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

Under the traditional teaching mode of propeller open-water test and cavitation test, students can only observe specific experimental content using designated experimental equipment at a set time

文章引用: 徐佩, 郭迎春, 孙颖. 基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统[J]. 创新教育研究, 2024, 12(5): 608-618.

DOI: 10.12677/ces.2024.125333

and location. This greatly restricts the cultivation of students' practical and engineering innovation abilities. However, the development of virtual simulation technology has overcome the shortcomings of the traditional experimental teaching model, enabling an intelligent teaching system that is not constrained by experimental equipment, time, and space. This paper builds a visual interactive scene based on the Unity 3D virtual engine and 3ds Max 3D modeling software, using a cavitation tunnel as a prototype. Utilizing Visual Studio Code software and the C# scripting language as development tools, a virtual simulation experiment system for propeller open-water test and cavitation test is constructed, realizing functions such as first-person free roaming, hands-on equipment assembly, close-up observation of devices, and experimental data analysis. The ship propulsion test system enables students to better understand of the principles, equipment functions, and application value of propeller open-water testing and cavitation test. Students' practical and critical thinking skills are enhanced, while the system significantly saves on teaching resources, improves teaching quality and learning efficiency, and has immense application prospects and research value in marine education and teaching.

## Keywords

Virtual Simulation, Propeller Open-Water Test, Propeller Cavitation Test, Experimental Teaching, Simulation Development

Copyright © 2024 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

为了贯彻落实《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》精神，根据《教育信息化十年发展规划》的指导意见，教育部在 2013~2015 年启动了国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作，取得了积极的反响和良好的效果[1]。2017 年，教育部印发了关于 2017~2020 年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知，计划到 2020 年遴选出 1000 项示范性虚拟仿真实验教学项目[2]。目标是推动高校积极探索线上线下教学相结合的个性化、智能化、泛在化实验教学新模式，形成专业布局合理、教学效果优良、开放共享有效的高等教育信息化实验教学项目示范新体系，支撑高等教育教学质量全面提高。

开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设，是推进现代信息技术与实验教学项目深度融合，提升实验教学质量和水平的重要举措。虚拟仿真技术是集软硬件、多学科的交叉技术[3]，基于虚拟仿真开发出来的船舶推进实验教学系统不受设备资源、时间和空间的限制，而传统的船舶推进试验中，试验设备、场地、时间等诸多客观因素对试验数量和质量都有一定制约，学生通过试验往往仅观察到这一种螺旋桨在一种工况下的试验结果，极大地限制了学生对试验的兴趣和能力的培养[4] [5] [6]。为改革传统实践教学模式，探索适应新时代发展的实践教学新模式，项目团队设计了基于虚拟现实的船舶推进试验系统。

## 2. 系统开发流程

螺旋桨作为船舶的主要推进装置，在航行过程中起着至关重要的作用[7] [8]。对于螺旋桨的敞水性能进行试验研究至关重要，因为它直接影响到船舶螺旋桨的设计以及推进性能。通过对螺旋桨模型进行敞水试验，可以准确测定和分析其性能特征。由于螺旋桨都是在水下工作的，当螺旋桨在水下转动时，桨叶的叶背压力会降低形成一个吸力面，当某处的压力降低到临界值以下时，水汽就会通过界面进入气核

使之膨胀,进而形成气泡,即产生空泡现象[9]。本文的船舶推进试验系统包括螺旋桨敞水试验和空泡试验,该系统的开发流程如图1所示。

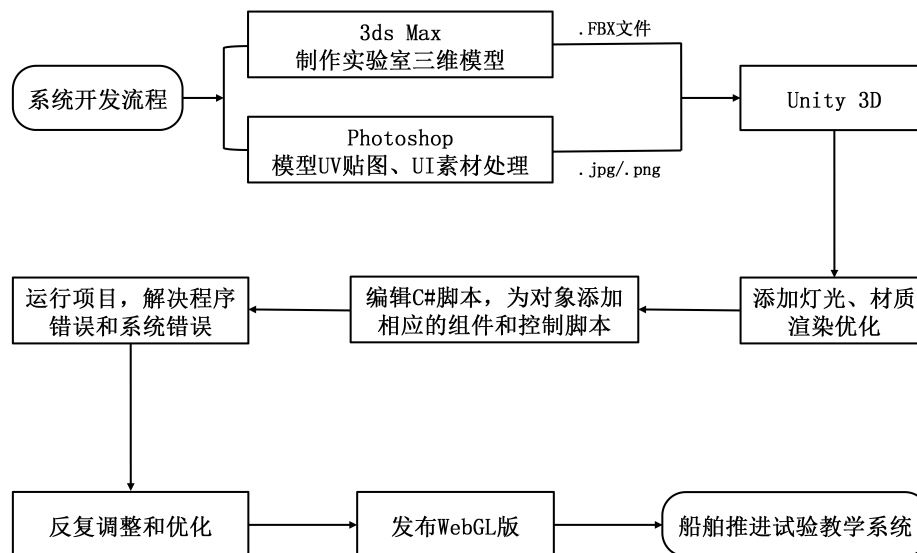


Figure 1. Development process of ship propulsion test teaching system

图1. 船舶推进试验教学系统开发流程

1) 利用 3ds Max 完成船舶推进实验室的三维模型,删除不必要的面片和顶点,确保模型的复杂度适中,并为模型进行正确的 UV 展开,确保纹理贴图在 Unity 中正确显示,在导出时选择 Unity 支持的文件格式.FBX。

2) 将搜集到的 UI 素材在 Photoshop 中进行处理,设计出符合船舶推进试验的 UI 界面;修改三维模型贴图,需对 UV 展开图进行设计处理。

3) 将处理好的模型和图片导入 Unity,并对其进行灯光、材质处理,并为后期要进行交互的对象添加相应的组件,例如 Box collider 和 Event trigger。

4) 创建 C#脚本,编辑系统所需要的 Script 功能脚本,将编辑好的脚本挂在相应的对象上,完成第一人称自由漫游、视频学习、答题考核、安装设备等功能。

5) 运行项目系统,检查系统中的程序错误和逻辑错误,并进行反复的调整和优化,直到设计出满意的船舶推进试验教学系统。

6) 借助 unity 3D 将系统发布成 WebGL 版,实现虚拟空泡水筒和基于虚拟仿真的船舶推进试验教学系统的云平台应用。

### 3. 虚拟仿真试验教学系统实现

基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统在运用计算机多媒体技术、虚拟仿真技术和互联网技术的同时,采用 B/S 架构,集视景仿真、在线虚拟试验人机交互、智能试验考核于一体,具有良好的自主性、互动性和扩展性。用户的网络操作与管理平台之间通过数据接口连接和交互,使用户能随时随地通过计算机浏览器访问虚拟仿真试验环境及其管理界面,完成基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统相关教学操作和管理工作。采用分层的架构设计,从底层模型资源到逻辑层功能实现,再到应用端功能体验,直至完成船舶推进试验教学系统的构建。基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统结构,如图2所示。

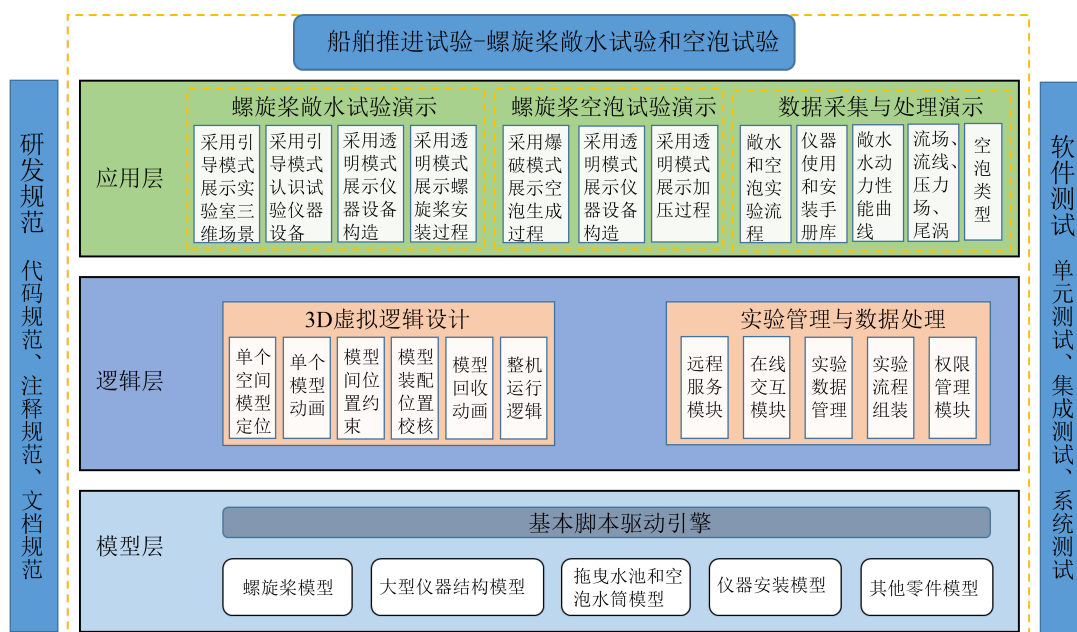


Figure 2. Diagram of ship propulsion test teaching system structure

图 2. 船舶推进试验教学系统结构图

### 3.1. 前期准备工作

前期准备工作包括在 Photoshop 里面设计处理好 UI 界面所需要的素材，这样会节省很多精力。虽然 Unity 里面也自带 UI 元素，比如文字、按钮以及纯色背景等，但是大多样式单调，并且设计起来也比较费力，所以围绕着虚拟现实教学系统流程图，在 Photoshop 里面设计出大部分素材是非常重要的。

在 Unity 中创建船舶推进试验的场景需要综合考虑多个因素。首先，确保场景包括试验设备、天空盒、光照等元素，以及能够模拟船舶运动的物理效果。在导入适当的螺旋桨模型后，务必添加相关的物理碰撞体和刚体组件，以确保螺旋桨在场景中的运动符合真实物理规律。为了实现用户与场景的人机交互，需要编写控制脚本，使用户能够通过鼠标控制左右旋转的角度，通过键盘的上下左右键控制移动的方向。同时，创建第一人称视角的摄像机并将其优化，将其位置设置为实验室内地面上，以确保用户可以以工作人员的身份身临其境地体验螺旋桨敞水试验和空泡试验过程。

### 3.2. 在线虚拟系统

基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统中试验流程主要包括试验类型选择、试验前期准备工作、试验测试以及试验结果分析 4 个部分。

#### 1) 试验类型选择

基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统包括螺旋桨敞水试验和螺旋桨空泡试验，其中，螺旋桨敞水试验又包括螺旋桨敞水物理试验和螺旋桨敞水精细流场分布，而螺旋桨空泡试验又包括螺旋桨空泡物理试验和螺旋桨空泡精细流场分布，系统内部设置了多个场景试验供学生选择，如图 3 所示。学生进入登录界面后可看到螺旋桨物理试验视频和文字简介，点击相应的试验名称，进入虚拟试验场景。

#### 2) 试验前期准备工作

准备工作主要包括螺旋桨敞水动仪内部设备介绍、内部设备安装、外部数据采集系统连接、螺旋桨敞水动力仪下水以及来流速度和螺旋桨转速设置等，如图 4 所示。在设备介绍过程中，学生可直接点击

敞水动力仪内部的动力仪、电机、敞水试验箱、螺旋桨模型、毂帽、过渡段、控制器以及安装架等设备，点击完成后可显示不同的设备名称、功能以及量程。介绍完成后呈现出每一个设备，学生自由组装设备，完成整个螺旋桨敞水动力仪的组装，并分别连接外部数据采集系统连接。连接成功后学生可直接将螺旋桨敞水动力仪放入到空泡水筒中。同时，在设备选择时系统会弹出部分选择时，例如：螺旋桨敞水试验时桨轴的沉没深度  $h$  应不小于多少？螺旋桨敞水性能曲线不包括哪些物理量？由船尾后面向前看时所见到的螺旋桨桨叶的一面称为什么？如图 5 所示。最后，在界面弹出不同来流速度和螺旋桨转速，学生选择完成后进行下一阶段。



Figure 3. Selection interface for propeller open-water test and cavitation test  
图 3. 螺旋桨敞水试验和空泡试验选择界面

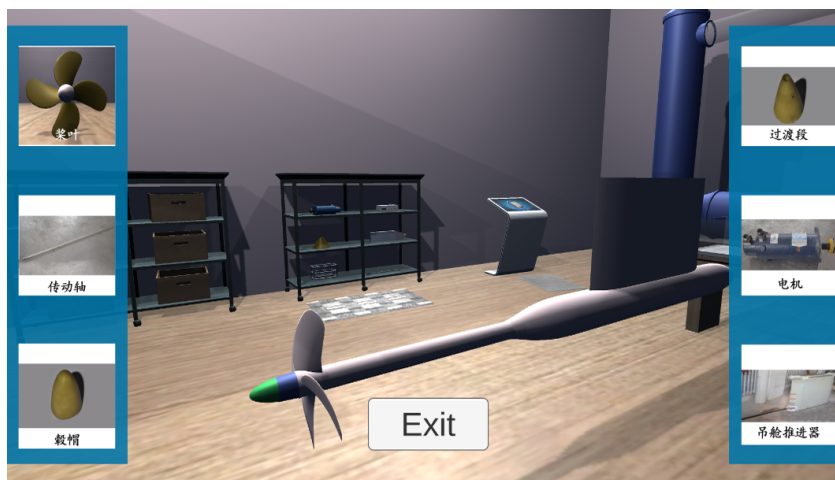


Figure 4. Introduction to propeller open-water test equipment  
图 4. 螺旋桨敞水试验设备介绍

### 3) 试验测试

在螺旋桨敞水试验测试界面，界面会展示出提前录制好的螺旋桨在拖曳水池的敞水试验视频和螺旋桨在空泡水筒的敞水试验视频，学生可自动选择，如图 6 所示。测试界面视频的呈现使学生近距离观察螺旋桨在不同试验设施内开展敞水试验时的运动场景，加深学生对螺旋桨敞水试验的认识和了解。而在

螺旋桨空泡试验中, 界面给出了螺旋桨在空泡水筒内开展试验时的视频, 视频可清晰展示出螺旋桨涡空泡、泡状空泡、片状空泡以及云雾状空泡的变化过程, 有助于学生掌握不同的空泡形态。界面中视频展示如图 7 所示。

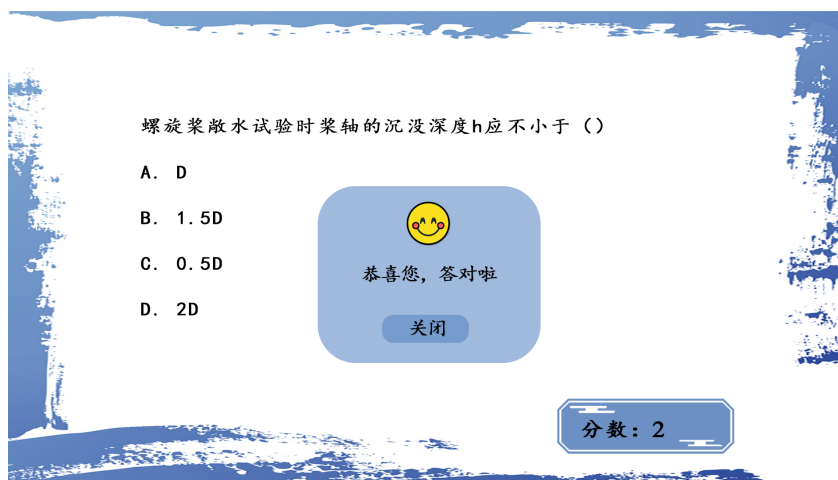


Figure 5. Answer interface

图 5. 答题界面



Figure 6. Propeller open water test interface

图 6. 螺旋桨敞水试验测试界面

#### 4) 试验结果分析

试验运行结束后, 试验结果分析模块分别给出了试验过程中螺旋桨推力和扭矩的时域变化曲线(图 8)、桨叶压力分布(图 9 和图 10)、螺旋桨尾涡分布(图 11)等, 而在螺旋桨空泡试验中还会呈现出桨叶表面空泡分布(图 12 和图 13)等, 学生可点击相应的名称, 观察试验结果。试验结果分析模型不仅展示出了物理水池试验时获得螺旋桨推力和扭矩的宏观力, 也展示出了物理试验不能获得的桨叶压力分布和螺旋桨尾涡变化, 桨叶压力和尾涡的展示有助于学生从机理上理解和掌握螺旋桨的工作原理和推力产生的主要原因。其次, 学生根据获得螺旋桨推力和扭矩值进行无量纲化处理, 获得螺旋桨推力系数和扭矩系数, 以及求出螺旋桨效率, 将结果输入界面中自动展示出螺旋桨敞水性能曲线, 如图 14 所示。最后, 试验考核部分会对学生观看视频时长、试验操作过程、答题情况、绘制的敞水性能曲线等情况进行打分, 如图 15 所示。

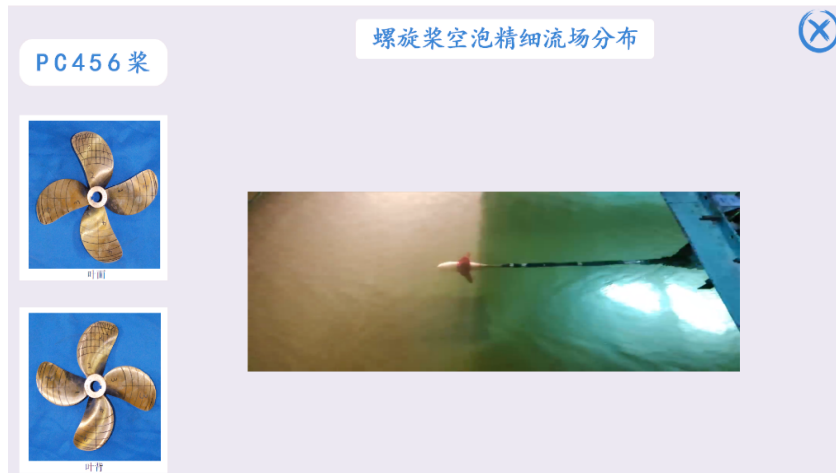


Figure 7. Propeller cavitation test interface  
图 7. 螺旋桨空泡试验测试界面

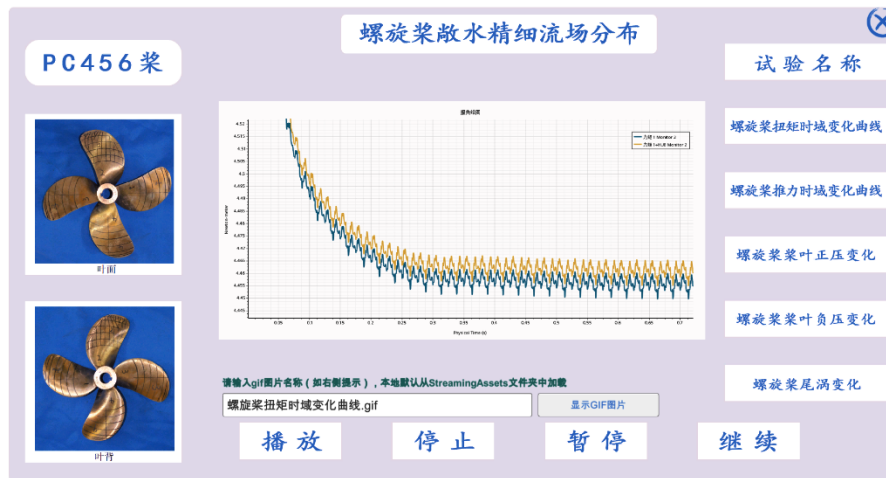


Figure 8. Propeller thrust and torque time domain curve  
图 8. 螺旋桨推力和扭矩时域变化曲线

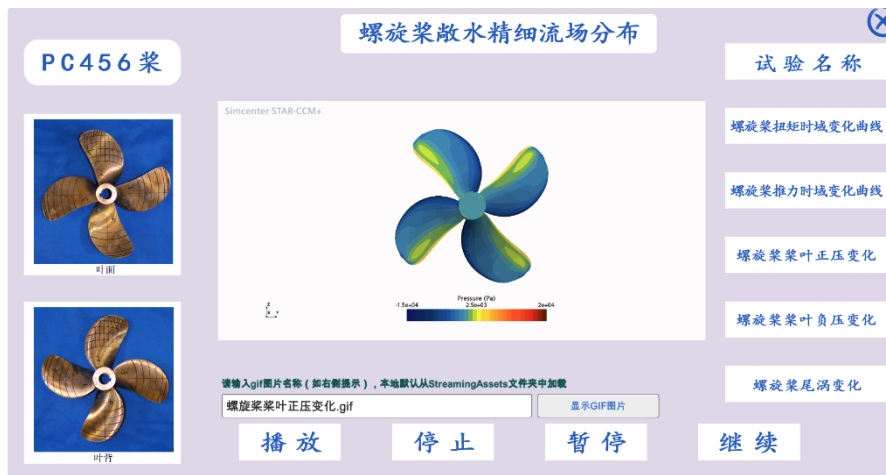


Figure 9. Pressure variation on propeller blade surface  
图 9. 螺旋桨叶面压力变化

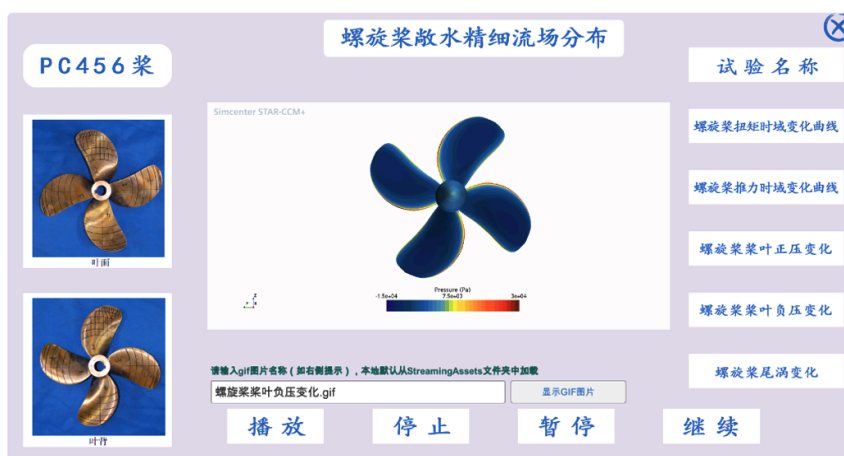


Figure 10. Pressure variation on propeller blade back  
图 10. 螺旋桨叶背压力变化

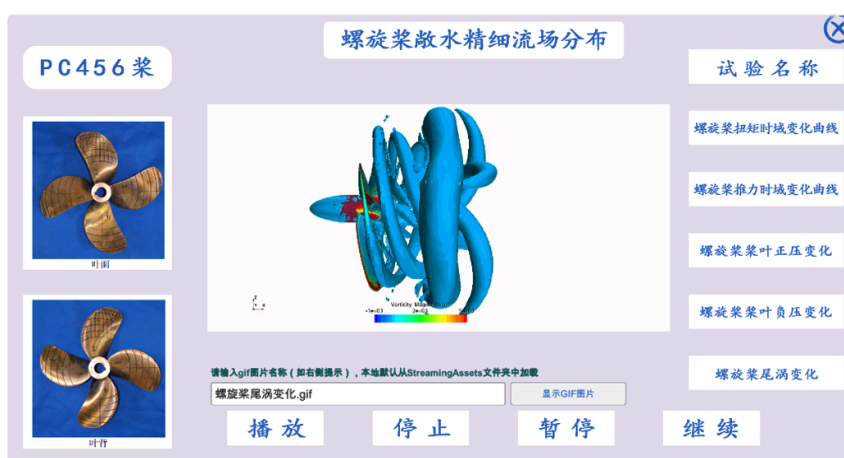


Figure 11. Propeller tail vortex variation  
图 11. 螺旋桨尾涡变化

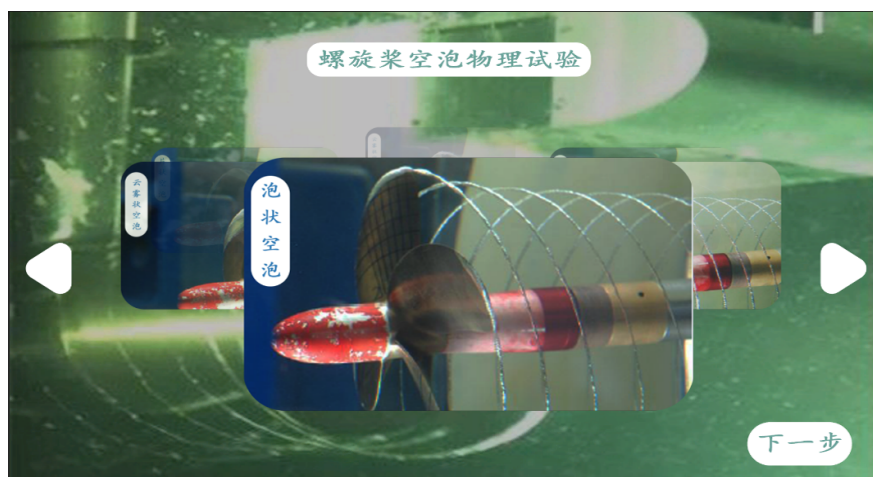


Figure 12. Propeller bubble cavitation distribution  
图 12. 螺旋桨泡状空泡分布



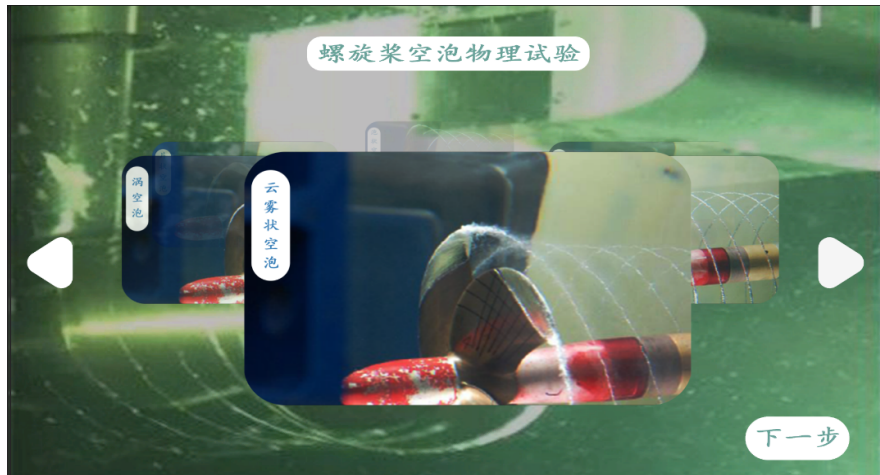


Figure 13. Propeller cloud cavitation distribution

图 13. 螺旋桨云雾状空泡分布

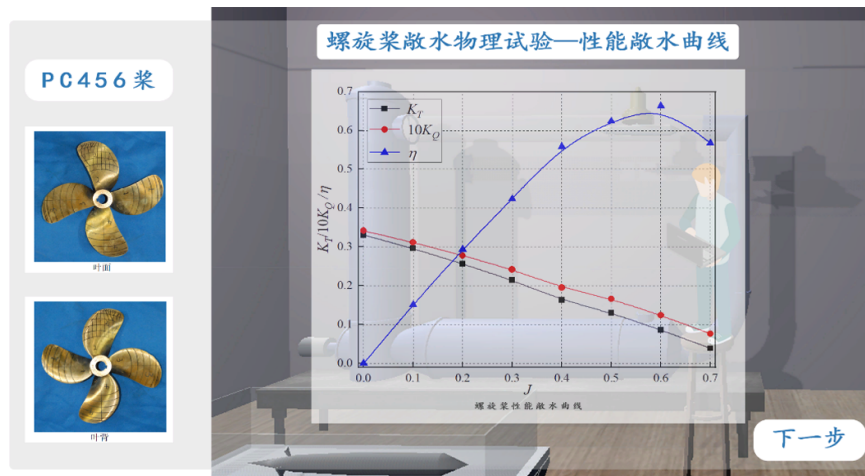


Figure 14. Propeller open-water performance curve

图 14. 螺旋桨敞水性能曲线图



基于虚拟现实的船舶推进试验教学系统

试验考核评分

学生信息		
姓名:	学号:	得分:
计分板		
观看视频时长得分:		
试验操作过程得分:		
答题得分:		
敞水性能曲线得分:		

Figure 15. Grading interface

图 15. 评分界面

## 4. 教学效果

试验教学是理论教学的一种延续,是让学生对课堂上所学知识进行消化和吸收的过程,学生通过亲历试验过程,能够将所学知识转化为实践技能,适应经济社会快速发展对人才培养的新要求、现代大学生成长的新特点、信息化时代教育教学的新规律,起到提高学生创新精神和实践能力的作用[10]。

在传统的试验教学模式下,受限于各种条件的约束,学生只能在限定的时间和地点,利用限定的试验设备,完成特定的试验内容。因此,传统试验是完成具有“代表性”和“普适性”的“规定动作”,极大地制约了对学生动手能力及工程创新能力的培养[11][12][13][14]。此外,传统实验室的建设经费投入不可小觑,不论是试验仪器设备的购置与维护,还是试验场地的建设与管理,都需要花费大量的人力、物力和财力。因此,在传统试验教学模式下,“投入产出比”往往受到质疑。为此,改革传统实践教学模式,探索适应新时代发展的实践教学新模式。

通过虚拟试验程序,增加了学生的实践机会,提升学生的试验兴趣,加深了学生对理论的理解与认知,获得较好的试验教学效果。该系统对船舶试验课的影响:逼真的虚拟环境给学生带来不一样的视觉体验,使得原本不被重视的试验重新回归到课堂,激发学生学习的热情,不仅让学生直观地学习到试验的过程和生成试验报告,而且提供给学生很多自由操作的空间与机会,给学生带来丰富又新颖的体验[15]。

在线虚拟实验室流程中的试验仪器介绍模块,将现实中的设备与虚拟结合,可以通过鼠标操作进行近距离观看细节,能够让学生更加理解试验仪器的具体用处和操作,同时增强学生对螺旋桨敞水试验和空泡试验的了解和认识;试验设备连接模块,能够让学生生动地看到船舶推进试验中仪器的连接过程,对设备会有更清楚的认识。试验数据处理模块能够生动地看到试验的现象变化,同时便于得到螺旋桨敞水时的推力系数、转矩系数以及效率随时间的曲线变化报告。综上所述,基于虚拟现实的船舶推进试验,增强了学生的学习兴趣,提高了办公效率,降低了试验成本,克服了试验在时间和空间上的困难,丰富了学校船舶相关试验教学的方式,顺应了信息化时代教育教学的发展趋势。

## 5. 结束语

该系统利用虚拟引擎 Unity 3D,使用 Visual Studio Code 软件,C#语言作为开发工具,借助互联网平台,将系统发布成 WebGL 版本,学生可以通过访问浏览器进入虚拟实验室。在开展虚拟现实试验系统项目时,可以结合学生自身发展,制定符合当前行业的发展状况和用人需求的试验课题,而且可以和船舶相关课程理论教学相结合,起到提高学生创新精神和实践能力的作用,这样既促进学生综合素质和实践能力的培养,也为学生的后期发展做准备。

## 基金项目

江苏海洋大学本科教育教学改革项目(JGX2022050, JGX2023050)。

## 参考文献

- [1] 教育部办公厅关于 2017-2020 年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知[EB/OL]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721\\_309819.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721_309819.html), 2021-02-01.
- [2] 袁贵仁. 国务院关于实施《国家中长期教育改革和发展规划纲要》工作情况的报告——在第十一届全国人民代表大会常委会第二十四次会议上[J]. 中国高等教育, 2012(2): 4-8.
- [3] 张勇亮, 张均东, 张志政. 三维船舶轮机虚拟实验室的设计和实现[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(1): 171-175. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-386x.2019.01.031>
- [4] 朱安庆, 胡安超. 基于 Unity 3D 的船舶制造虚拟仿真教学系统构建[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(6): 117-120. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-7167.2018.06.028>
- [5] 王雨生. 基于 Unity 3D 的虚拟船舶仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.

- 
- [6] 张磊, 石璘, 郑菊艳, 等. 基于 Unity 3D 的虚拟豪华邮轮仿真系统设计[J]. 模型世界, 2022(26): 25-27. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-8016.2022.26.010>
- [7] 陈小兵, 李冰, 张为, 等. 船舶可拆卸螺旋桨叶片角度优化技术[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(12): 4-6. <https://doi.org/10.3404/j.issn.1672-7649.2021.6A.002>
- [8] 彭言峰, 赵淼, 许磊. 船用螺旋桨推进性能优化设计及试验方法[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(1): 67-71.
- [9] 贺博. 非均匀流场下复合材料螺旋桨的空泡及空泡噪声性能研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [10] 韩阳, 郭春雨, 赵大刚, 等. 基于虚拟仿真的船模阻力实验系统设计与应用[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(3): 21-25. <https://doi.org/10.12179/1672-4550.20210081>
- [11] 倪少玲, 任政儒, 李海涛, 等. 船模阻力虚拟试验教学系统开发研究[J]. 船海工程, 2012, 41(6): 34-37. <https://doi.org/10.3963/j.issn.1671-7953.2012.06.011>
- [12] 鞠晓群, 张兴明, 罗念宁. 基于多模式协同的船模阻力试验教学改革[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(1): 72-75. <https://doi.org/10.12179/1672-4550.20200443>
- [13] 刘旸, 郭春雨, 孙聪, 等. “互联网+”时代虚拟船舶交互实验平台建设与实践[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(10): 162-167, 175. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-7167.2018.10.037>
- [14] 李琨, 张少杰, 白雪, 等. 虚拟仿真在系统解剖学神经系统教学中的应用[J]. 继续医学教育, 2020, 34(3): 16-18.
- [15] 乔先达, 柏平, 侯玲, 等. 基于 VR/AR 的虚拟仿真实验系统开发——以大学“分析化学实验课程”为例[J]. 中国医学教育技术, 2020, 34(4): 471-475. <https://doi.org/10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202004018>