

# 数智化课程建设背景下 基于数字孪生技术的大学物理实验教学研究

苏美颖<sup>1</sup> 李晓<sup>1</sup> 赵月月<sup>2</sup> 宿德志<sup>3</sup>

1. 海军潜艇学院 山东省青岛市 266199

2. 海军大连舰艇学院 辽宁省大连市 116013

3. 海军航空大学 山东省烟台市 264001

**摘要:** 在数智化课程建设加速推进的背景下, 大学物理实验教学正面临着创新变革的迫切需求。数字孪生技术作为近年来备受关注的前沿技术, 凭借其构建虚拟模型与物理实体实时映射、动态交互的核心能力, 为大学物理实验教学的优化升级提供了全新路径。本文首先深入剖析了当前大学物理实验教学中存在的实践短板, 其次系统阐述了数字孪生技术的核心概念、显著特点及其在教育领域应用的独特优势; 在此基础上, 重点探讨了基于数字孪生技术的大学物理实验教学模式构建路径, 涵盖虚拟实验平台搭建的技术架构、教学流程的闭环设计等关键环节。研究旨在为提升大学物理实验教学质量、培养数智时代创新型人才提供理论参考与实践借鉴。

**关键词:** 数智化课程建设; 数字孪生技术; 大学物理实验; 教学模式

## 1 引言

在数智化时代背景下, 教育领域正经历深刻的数字化转型<sup>[1]</sup>。数智化课程建设作为重要方向, 通过创新教学模式和提升教学效能, 为培养高素质人才提供了新途径。大学物理实验作为高等教育的关键环节, 在培养学生实践能力、创新思维和科学素养方面具有不可替代的作用。然而, 传统实验教学面临设备有限、内容陈旧、过程难以复现等现实问题, 严重制约了教学质量的提升。

数字孪生技术作为近年来备受关注的前沿技术, 通过构建物理实体的虚拟数字模型, 实现实时数据交互与同步, 能够为大学物理实验教学提供创新路径。将数字孪生技术应用与大学物理实验教学, 不仅有望解决传统教学中存在的诸多问题, 更为学生创造个性化、沉浸式的学习环境, 培养其适应数智时代需求的综合能力。因此, 开展基于数字孪生技术的大学物理实验教学研究具有重要的现实意义和应用价值<sup>[2]</sup>。

本文系统探究了数字孪生技术在大学物理实验教学中的应用路径。首先从教育数字化转型的需求出发, 分析了该技术的教育价值; 其次通过对比研究, 明确了其在物理实验教学中的独特优势; 最后构建了“预习-课堂-拓展”三阶段的教学新模式。该模式以数字孪生平台为支撑, 实

现了实验教学全流程的智能化升级, 为高等教育实验教学改革提供了切实可行的解决方案。

## 2 大学物理实验教学现状分析

### 2.1 传统教学模式的局限性

传统大学物理实验教学模式通常以教师为中心, 课堂上教师先讲解实验原理和操作步骤, 学生被动接受知识后按既定流程完成实验<sup>[3]</sup>。这种模式限制了学生的自主探索空间, 难以培养创新思维和实践能力。以“牛顿第二定律验证实验”为例, 学生机械地按照固定步骤操作, 很少思考实验方案优化或尝试不同实验条件, 导致对物理原理的理解停留在表面。

### 2.2 实验设备与资源问题

物理实验教学面临严重的设备资源瓶颈: 一是实验设备价格昂贵且种类繁多, 部分高校因经费限制导致设备数量不足, 学生实践时间受限; 二是设备更新滞后, 老旧仪器精度不足影响实验结果。以“迈克尔逊干涉仪实验”为例, 设备老化导致条纹模糊, 严重影响测量准确性。此外, 教学资源分散且缺乏共享机制, 优质资源难以跨校流通, 制约了整体教学水平的提升。

### 2.3 教学评估体系缺陷

现行评估体系主要依赖实验报告和操作考核, 难以全

面反映学生的真实能力<sup>[4]</sup>。实验报告侧重数据处理而忽视思维过程<sup>[5]</sup>，操作考核仅测试基本操作熟练度<sup>[6]</sup>。这种评估方式既无法准确评价学生的创新能力、团队协作等综合素质，也不利于教师获取有效的教学反馈。更严重的是，部分学生通过抄袭或简单处理数据完成任务，其真实的实验能力未被有效评估，影响了教学改进的针对性。

### 3 数字孪生技术概述

#### 3.1 数字孪生技术的概念与原理

数字孪生技术起源于制造业，核心要素包括物理实体、虚拟模型、数据连接<sup>[7]</sup>。它通过数字化手段创建与物理实体高度相似的虚拟模型，实时采集物理实体状态数据并更新仿真，实现同步运行与交互。以航空发动机为例，其数字孪生应用中，虚拟模型可实时反映发动机在不同工况下的温度、压力、转速等参数，工程师借此提前预测故障、优化维护计划<sup>[8]</sup>。在大学物理实验教学中应用该技术，即构建与实验设备、环境对应的虚拟模型，利用实时数据交互为学生营造更真实、灵活的学习环境。

#### 3.2 数字孪生技术的特点

数字孪生模型具有高度逼真性，能精确模拟物理实体的外观、结构、运动方式及物理特性。在大学物理实验中，学生可借此观察实验设备内部结构与工作原理，如“示波器实验”中，能清晰看到电子枪发射电子及电子在电场和磁场中的运动轨迹等微观过程，传统实验教学难以做到。

虚拟模型与物理实体的实时数据交互是关键特点<sup>[9]</sup>。实验中，学生对物理实体的操作实时反映在虚拟模型上，虚拟模型的分析结果和反馈也能及时指导学生进一步操作。此外，数字孪生模型不受时空限制，可无限次重复运行与实验。学生在虚拟环境中能多次尝试不同实验方案与参数设置，无需担心损坏设备或浪费材料。同时，它具有良好的可扩展性，能根据教学需求和技术发展更新完善，增加新实验内容与功能。如学校可根据科研成果和教学改革需求，在数字孪生实验平台添加量子物理相关实验项目，丰富学习资源。

#### 3.3 数字孪生技术在教育领域的应用优势

近年来，数字孪生技术在教育教学领域的应用价值日益凸显，为实验教学创新提供新路径。该技术可根据学生学习进度、能力与兴趣，定制个性化实验学习路径及指导。基于数字孪生的学习系统能动态采集学生操作数据，涵盖实验步骤、仪器参数调节精度、数据记录规范性及误差分

析逻辑等。系统分析后智能推送适配的实验任务与学习资源，助力学生高效掌握知识技能。教师可借助系统生成的可视化报告，精准识别学生知识短板，动态调整教学策略。

对于成本高昂、危险性高的物理实验，如“原子核物理实验”“高压电实验”等，利用数字孪生技术构建虚拟实验环境，可避免因实验设备采购、维护和操作带来的高额成本，有效降低安全风险。而且，数字孪生实验平台能整合和数字化存储优质实验教学资源，通过网络实现跨地区、跨学校共享。不同高校的教师和学生可在同一平台交流协作，共同开展实验教学与科研项目。

### 4 基于数字孪生技术的大学物理实验教学构建

#### 4.1 虚拟实验平台搭建

将数字孪生技术应用于大学物理实验教学构建高度逼真且实时交互的虚拟实验环境，获得多样化的功能模块，需整合多方面核心要素。首先，要构建精确的实验设备模型。运用三维建模软件（如 3D Max、SolidWorks 等）和物理仿真软件（如 COMSOL Multiphysics、MATLAB Simulink 等），对分光计、单摆等常见实验设备进行三维建模，模拟其外观、结构与运动方式。再依据物理原理和实验数据，赋予模型质量、弹性系数等物理属性，使其能准确模拟设备在不同条件下的物理行为。例如构建“单摆实验设备数字孪生模型”时，精确设置摆球质量、摆长等参数，模型就能准确模拟单摆的摆动周期和轨迹。

其次，需创建逼真的虚拟实验场景。利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，打造与实际实验室相似的虚拟场景，涵盖布局、照明、通风等条件<sup>[10]</sup>。最后，要实现虚拟模型与物理实体的实时数据交互，需集成数据采集与交互系统<sup>[11]</sup>。在实验设备上安装位移、压力等传感器，实时采集运行状态数据，并通过无线传输技术传至虚拟实验平台。同时，在平台上开发交互界面，学生可用鼠标、键盘等操作虚拟模型。例如“简谐振动实验”中，位移传感器将弹簧振子位移数据传至虚拟模型，学生调整弹簧劲度系数或振子质量，虚拟模型运动状态会相应改变并反馈给学生。

#### 4.2 教学流程设计

基于上述应用理念与实践需求，本文创新型地提出一种基于数字孪生技术的大学物理实验课程教学模式，通过多环节协同形成完整教学闭环。该教学模式可构建多元实验内容体系，精准匹配不同层次学生学习需求，实现个性

化教学。其核心应用场景可归纳为四大类：虚拟实验教学、远程实验教学、实验仿真与预测、实验数据分析及挖掘。

#### 4.2.1 实验预习阶段

学生登录数字孪生实验平台，进入预习模块。该模块集成多种资源，包括实验设备数字孪生模型展示、实验原理动画演示、操作视频教程等。学生能旋转、缩放虚拟模型探究设备结构原理；观看动画理解抽象概念与原理；操作虚拟模型预实验，熟悉步骤要点。平台依据学生预习操作数据，如视频观看时长、模型操作次数与准确性等生成预习报告，评估效果并反馈给教师，教师据此调整教学内容。以“杨氏双缝干涉实验”预习为例，学生通过虚拟模型观察双缝结构、光传播路径和干涉条纹形成，初步理解原理；预实验操作掌握调节双缝间距、光屏位置等要点，为课堂实验做准备。

#### 4.2.2 课堂实验教学阶段

教师先简要讲解实验重点难点，学生分组实验。学生既可在真实环境中操作设备，也可在虚拟环境中借助数字孪生模型实验。实验时，物理实体和虚拟模型实时同步数据，学生可对比结果，加深对物理原理的理解。若学生操作出错，虚拟模型会警报并给出提示与纠正建议。教师通过监控平台查看学生实验进展，及时指导问题学生。此外，教师还能在虚拟实验平台设置突发故障，如电路短路、仪器损坏等，锻炼学生应变与故障排除能力。

#### 4.2.3 实验总结与拓展阶段

实验结束后，学生在平台上提交地实验报告内容除了传统的实验数据处理、结果分析外，还包括虚拟环境中的操作记录、问题及解决方法等。平台利用数据分析算法深度分析实验数据和操作过程生成评估报告，从实验原理解、实验操作技能、数据分析能力、创新思维等多个维度对学生进行评价，并给出个性化的学习建议。教师引导学生对比实验结果和操作过程，总结经验教训。同时，教师根据学生学习情况推送拓展资源，鼓励自主学习探索，培养创新能力与科学素养。如在“牛顿环实验”总结阶段，平台发现部分学生测量牛顿环直径误差大，评估报告给出改进建议；教师组织学生讨论减小误差的方法，并推送利用牛顿环测量薄膜厚度、检测光学元件表面平整度等拓展资料，激发学生探索兴趣。

结束语：数智化教育转型中大学物理实验教学亟待变

革，传统实验室的诸多痛点制约了教学质量提升。数字孪生技术构建与物理实体实时映射的虚拟模型，为破解难题提供创新方案。本文提出的基于数字孪生技术的教学模式以学生为中心，贯穿实验预习、课堂实验教学、实验总结与拓展三阶段，融合个性化、探究式与协作学习，可全面提升学生学习兴趣、实验技能与思维。尽管数字孪生系统初期建设投入较高，但长期看能降低设备维护与耗材费用提升资源利用率，规避物理风险助力危险实验常态化教学。总之，数字孪生技术为大学物理实验教学改革开辟新路径，随着技术完善将在该领域发挥更大作用，为培养高素质创新人才提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1] 郭燕. 公路工程数智化建设管理技术应用分析 [J]. 大众标准化, 2024, (03): 154-156.
- [2] 陆妍. 虚拟仿真实验过程数字孪生体设计与实现 [D]. 兰州交通大学, 2023, (01): 71.
- [3] 王雪梅. 物理仿真实验在大学物理实验教学改革中的应用 [J]. 科技视界, 2020, (20): 41-42.
- [4] 王铁云, 赵巨涛. 大学物理实验教学质量评估体系的研究与实践 [J]. 物理与工程, 2019, 29(S1): 8-14.
- [5] 杨璇. 新高考背景下高中物理实验教学的改进与创新实践 [J]. 第二课堂 (D), 2024, (03): 19-20.
- [6] 张嘉弘. 高中物理实验深度复习路径研究 [J]. 物理教学探讨, 2022, 40(07): 7-10.
- [7] 江民圣, 鲁效平, 张维杰, 等. 数字孪生技术在家电领域的模型架构与应用 [J]. 制造业自动化, 2023, 45(03): 183-187.
- [8] 游巧立, 叶利国, 彭盛佳, 等. 数字孪生技术在航空发动机制造中的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2025, (09): 218-220.
- [9] 程子豪, 刘向南, 高宏伟, 等. 数字孪生赋能下的 6G 网络资源管控机制 [J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(03): 38-45.
- [10] 叶勇. 基于 3D 和 Virtools 技术的物理虚拟实验室的设计与实现 [J]. 科技创新导报, 2017, 14(01): 120-122.
- [11] 王建民, 宋庆奎, 彭莹莹, 等. 工业互联网支持下的数字孪生车间 [J]. 数字技术与应用, 2022, 40(09): 87-89.

作者简介：苏美颖，1999.07，女，汉，山东省潍坊市，硕士研究生，教研室助教，从事的研究方向或工作领域：大学物理和大学物理实验教学