

虚拟仿真技术在自动化学科教学中的应用路径研究

孙震东, 汪玉洁, 陈宗海*

中国科学技术大学自动化系, 安徽 合肥 230026

DOI: 10.61369/ETR.2025250037

摘要：针对自动化学科教学中存在的设备成本高、安全风险大、评价体系单一等问题，本文提出虚拟仿真技术的创新应用路径。通过构建“物理层-控制层-交互层”三层架构平台，实现复杂系统的高精度建模与虚实联动操作。最后以燃料电池控制系统为典型案例，开发涵盖结构认知、参数整定、故障诊断及系统优化的阶梯式实验项目。同时建立动态评价雷达图，实时追踪跨学科应用能力成长。文章简要阐明虚拟仿真技术在自动化学科教学中的可行性，梳理当下新能源汽车技术专业课程教学存在的问题，并探讨虚拟仿真技术在课程教学中的应用路径，期望能提升人才培养质量，助推自动化产业发展。

关键词：虚拟仿真技术；自动化学科；教学

Research on the Application Path of Virtual Simulation Technology in Automation Discipline Teaching

Sun Zhendong, Wang Yujie, Chen Zonghai*

Department of Automation of University of Science and Technology China, Hefei, Anhui 230026

Abstract： Addressing issues such as high equipment costs, significant safety risks, and a limited evaluation system in the teaching of automation disciplines, this paper proposes an innovative application path for virtual simulation technology. By constructing a three-layer architecture platform comprising the “physical layer-control layer-interaction layer,” the paper achieves high-precision modeling of complex systems and integrated virtual-physical operations. Finally, using a fuel cell control system as a typical case study, the paper develops a stepwise experimental project encompassing structural cognition, parameter tuning, fault diagnosis, and system optimization. Additionally, a dynamic evaluation radar chart is established to track the growth of interdisciplinary application capabilities in real time. The article briefly elucidates the feasibility of virtual simulation technology in automation discipline education, identifies the current issues in the teaching of new energy vehicle technology courses, and explores the application pathways of virtual simulation technology in course instruction. It aims to enhance the quality of talent cultivation and drive the development of the automation industry.

Keywords： virtual simulation technology; automatic science; teaching

一、虚拟仿真技术在自动化学科教学中的可行性分析

（一）调动学生学习兴趣，提高学生实践能力

通过高度逼真的仿真系统与操作环境，学生能够在虚拟空间中进行实践操作，从而了解并掌握自动化控制知识^[1]。以计算机控制课程的燃料电池控制教学为例，虚拟仿真技术能够根据实际系统结构与功能，建立传感器、数据处理等模型，模拟温度、压力等复杂环境，还原电堆工作全流程，并可视化呈现模拟结果，使学生直观了解系统运行状态^[2]。

（二）弥补实训设备不足，提供安全教学平台

控制系统设施成本高昂且操作复杂，部分学校没有配备全面的设施。虚拟仿真技术的引入能够填补传统教学的不足。以新能源汽车课程为例，虚拟仿真系统能够构建高度逼真的汽车模型，引导学生系统认识汽车总成与部件结构，并通过模拟汽车整车管理及故障诊断流程，让学生获得与实际操作近乎一致的实践体验^[3]。

（三）降低教学成本，提高教学灵活性

部分课程教学的开展对实践场景要求特殊，例如“自动驾驶汽车标定”，需学生深入驾驶场景、行车道路等真实环境进行观

基金项目支持信息：本研究部分由中央高校基本科研业务费专项资金资助（项目编号：WK2100000054），部分由中国博士后科学基金资助（项目编号：2024M763155），部分由安徽省教育厅新时代育人省级质量工程项目资助（项目编号：2023jyxggyY005）。

通讯作者：陈宗海，中国科学技术大学教授、博士生导师。长期致力于自动化学科教学与科研，现担任国际自动控制联合会（IFAC）技术委员会委员，中国自动化学会理事，中国仿真学会常务理事。邮箱：chenzh@ustc.edu.cn

二、虚拟仿真技术在自动化课程教学中的创新应用路径探究

仿真平台演示能够将新能源汽车控制理论中抽象的汽车运行系统中的知识点以动画、三维模型等直观的、可视化的方式展示出来^[9]。以新能源汽车的能量回收系统控制理论演示为例,仿真平台能够展示制动过程中电机发电状态的切换,将车辆动能转化为电能,并储存到电池的过程,帮助学生更深入地理解运行原理^[10]。

利用虚拟仿真软件能够模拟各类常见的故障场景, 让学生能够通过软件界面观察车辆运行的参数变化, 信号波形等信息, 运用所学的控制理论知识进行故障排查与诊断^[11]。

新能源汽车性能优化很大程度上依赖对控制器参数的标定,在标定工作量增加,标定质量要求越来越高的情况下,虚拟控制器参数标定操作为学生提供高效、安全的实践平台^[12-13]。虚拟环境中,学生能够对电机控制器的 PID 参数、电池管理系统的充放电控制参数等进行调整与优化,通过改变参数值,观察新能源汽车动能性能、能量激活、稳定性等指标的变化。

新能源汽车领域不断出现先进的控制算法，如模型预测控制算法、自适应控制算法等，这些算法的实际效果验证在实车实验中往往会受到诸多条件的限制。而虚拟仿真技术为控制算法的演示与验证提供了平台。学生通过虚拟环境能够观察 PID、模糊控制等算法在不同工况下的调节效果。

三、虚拟仿真技术在自动化学科教学中的应用案例——以燃料电池控制系统为例

The diagram illustrates the hydrogen circulation system for a hydrogen fuel cell power system. The central component is the fuel cell stack, which is connected to a DC-DC converter and a battery. The system includes a hydrogen proportioning valve, a hydrogen circulation pump, a hydrogen gas separator, a pressure-reducing valve, a backpressure valve, a humidifier, an air flow meter, an air filter, and an air compressor. The flow of hydrogen gas is indicated by blue arrows, and the flow of cooling water is indicated by red arrows. The system is designed to maintain a constant pressure and flow rate of hydrogen gas to the fuel cell stack.

燃料电池控制系统作为新能源领域的核心应用场景，如图1

（二）虚拟实验平台架构与技术实现

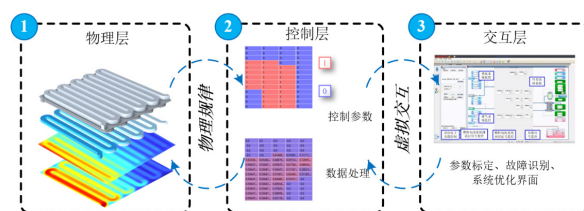


图2 虚拟仿真平台架构设计

虚拟实验平台采用三层协同架构（见图2）。其中包括物理层：基于实时数字仿真引擎构建质子交换膜燃料电池（PEMFC）高精度模型，包含电堆极化曲线、空气压缩机动态响应、冷却液流量传递函数等核心算法。控制层：集成 DCDC 变换器功率跟随策略、PID 温度闭环控制、氢气循环泵优化算法等模块，支持 MATLAB/Simulink 模型无缝嵌入。交互层：通过 Unity3D 引擎开发沉浸式操作界面，实现设备结构透视（如储氢罐安全阀解构）、三维组态编辑（支持 FBX 模型导入）及故障注入沙盘（如氢气泄漏模拟）。平台创新性引入虚实联动机制：学生可通过 OPC 协议连接真实 PLC 控制器，在虚拟环境中调试空压机转速参数，实时观测电堆效率变化曲线，突破纯软件仿真的“黑箱”局限。

（三）虚拟仿真实验项目的设计

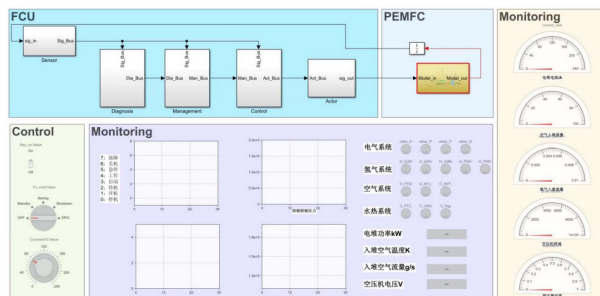


图3 燃料电池系统控制策略虚拟标定与优化平台

在设计实验项目时,应根据学生的知识储备与学习能力合理安排实验难度与进度。实验项目内容要紧密结合燃料电池控制领域的实际应用场景,无论是对系统的基础认知实验还是综合应用实验均要涵盖其中^[4]。例如,基础性的实验可以为学生设计燃料电池系统结构与工作原理的虚拟拆解与组装实验,借助VR眼镜、手柄等设备,学生能够在虚拟环境中自行进行线路和零件布置等训练;综合实验则可模拟真实的燃料电池系统研发场景,要求学

生综合运用多种控制理论与技术，如图3所示完成控制策略的设计与优化，并通过虚拟仿真验证效果。此外，还可设置开放性实验课题，鼓励学生自主探索不同的解决方案，通过小组合作共同完成实验任务，全面提升学生的综合素质。

（四）教学实施流程与能力培养路径

通过场景漫游识别燃料电池堆、供氢子系统、热管理单元等核心部件，结合交互动画学习质子交换膜氢离子传导机理；在虚拟环境中调节PID控制器参数，观察不同工况下电堆温度波动范围（如-30℃冷启动 vs 80℃满载），理解热力学约束对控制性能的影响；注入氢气浓度异常、冷却液堵塞等12类典型故障，要求学生设计安全联锁策略并生成故障树分析报告；基于ADVISOR仿真平台对比燃料电池-蓄电池混合动力方案，完成百公里氢耗量

多目标优化。每个阶段均嵌入动态评价机制，实时追踪学生在响应速度、策略创新性、跨学科应用等维度的能力成长。

四、结束语

本研究针对自动化学科教学中设备成本高、安全风险大、评价体系单一等问题，通过虚拟仿真技术构建了燃料电池控制系统等典型教学场景，提出分层实验设计与动态能力评价方法。研究建立的实验体系，有效衔接了理论教学与工程实践需求。未来需重点突破跨平台仿真工具开发、校企资源协同更新机制等瓶颈，推动虚拟仿真技术在更多专业课程中的规模化应用。本研究为自动化教育数字化转型提供了可复制的技术路径与实践范例。

参考文献

- [1] 李俊. 虚拟仿真软件在新能源汽车运用与维修专业中的应用探讨 [J]. 时代汽车, 2025, (10): 58-60.
- [2] 陈婕. 虚拟仿真技术在新能源汽车专业教学中的应用 [J]. 汽车知识, 2025, 25(03): 147-149.
- [3] 司徒立源. VR技术在新能源汽车高压安全实训中的应用 [J]. 汽车测试报告, 2025, (04): 142-144.
- [4] 闫俊杰. 虚拟仿真技术在新能源汽车技术课堂上的实施探索 [J]. 汽车实用技术, 2025, 50(04): 146-149.
- [5] 陈晓辉. 虚拟仿真技术在新能源汽车专业教学中的应用研究 [J]. 内燃机与配件, 2025, (04): 150-152.
- [6] 谭志荣, 王新运, 彭焜鹿, 等. 基于虚拟仿真技术智能网联汽车技术专业人才培养研究 [J]. 汽车维修与保养, 2025, (02): 86-88.
- [7] 邱宗敏. 基于虚拟仿真技术的新能源汽车检测与维修专业学生适岗能力培养探究 [J]. 汽车维修技师, 2024, (22): 72-73.
- [8] 弓馨, 潘冬, 徐婷, 等. 新能源汽车虚拟仿真实验教学平台建设 [J]. 软件, 2024, 45(10): 5-8.
- [9] 董竹林. 虚拟仿真技术在新能源汽车专业教学中的应用与探索 [J]. 内燃机与配件, 2024, (15): 146-148.
- [10] 傅松桥, 常建斌. 虚拟仿真技术在动力电池类课程教学中的应用 [J]. 电池, 2024, 54(03): 435-437. DOI: 10.19535/j.1001-1579.2024.03.030.
- [11] 赵华慧. 新能源汽车构造课程理、虚、实教学方法分析 [J]. 汽车维修技师, 2024, (06): 66.
- [12] 夏波. 新能源汽车电机控制技术优化研究 [J]. 汽车测试报告, 2023, (17): 67-69.
- [13] 郑勇, 赵婷婷, 胡长斌, 等. 控制理论虚拟仿真实验教学软件开发 [J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(04): 217-221.
- [14] 张荣贵, 李智强. 基于VR技术的新能源汽车教学应用与研究 [J]. 机电技术, 2021, (01): 101-104+114.
- [15] 李琳辉, 杨晓莉, 连静, 等. 车辆工程“控制原理与应用”课程实验教学研究 [J]. 实验室科学, 2020, 23(05): 63-66.