

虚拟仿真融合智慧课堂的教学创新与实践

——以化工仪表及自动化课程为例

包文亚 王慧 韩佳佳 宗建平 程海蒂 解娅男 胡晶晶

齐鲁理工学院

摘 要：随着新工科建设与信息技术革命的深入推进，传统《化工仪表及自动化》课程的教学模式面临巨大挑战。通过分析该课程在教学过程中存在的“高成本、高风险、难再现、难理解”等核心问题，提出了将化工仪表控制虚拟仿真实验平台与智慧化课堂建设深度融合的教学改革方案。论文详细阐述了基于“线上虚拟仿真—线下智慧课堂”的混合式教学模式构建，包括教学目标重塑、教学内容重构、教学流程再设计及多元考核评价体系建立。通过教学实践对比分析，证明该模式能有效激发学生学习兴趣，深化对复杂抽象理论的理解，显著提升工程实践能力、创新思维及解决复杂工程问题的能力，为同类工科专业的实践教学改革提供了可借鉴的路径。

关键词：化工仪表及自动化；教学改革；虚拟仿真；智慧课堂；混合式教学

随着工业 4.0 时代的到来和“中国制造 2025”战略的深入推进，流程工业正朝着智能化、数字化、网络化的方向高速发展。作为现代流程工业的“神经中枢”与“感知系统”，化工仪表及自动化技术在确保生产安全、提升产品质量、提高能源效率、实现优化控制等方面扮演着至关重要的角色。这一深刻的技术变革对高校化工类人才的培养提出了前所未有的更高要求：未来的工程师不仅需要扎实的理论基础，更必须具备卓越的工程实践能力、系统集成能力和创新解决复杂工程问题的能力。《化工仪表及自动化》是化学工程与工艺、过程装备与控制工程等专业的核心课程，其理论性强、实践性要求高，内容涵盖检测技术、控制模型、执行器及系统集成等多个方面^[1]。然而，传统的《化工仪表及自动化》课程教学模式正面临着严峻的挑战，难以完全适应新工科背景下创新人才培养的内在需求，主要存在以下困境：①抽象理论难以直观化，课程中的过程特性、基本控制规律（如 PID 调节）、控制器参数的工程整定等内容极为抽象，仅凭教师口头讲述和二维 PPT 演示，学生难以建立形象化的认知，容易感到枯燥和困惑；②实践教学条件受限，真实的化工仪表与控制实验装置价格昂贵、占地面积大、维护成本高。同时，化工生产过程具有高温、高压、易燃、易爆等特点，学生直接操作真实设备存在较高的安全风险，使得许多实验项目沦为“观摩性”实验，学生动手操作机会严重不足；③教学时空固定僵化，传统

课堂受时间和地点限制，学生无法根据自身学习节奏进行重复性、探究性实验，难以满足个性化学习的需求；④理论与实验脱节，理论课与实验课往往分开进行，导致学生在学习理论时缺乏实践载体，在做实验时又可能遗忘理论，二者未能形成有效的相互促进。

近年来，信息技术的发展为破解上述难题提供了新的契机。教育部大力倡导建设“智慧课堂”和“虚拟仿真实验教学项目”，旨在利用大数据、人工智能、虚拟现实（VR）等技术重塑教育教学形态^[2]。虚拟仿真实验正是这一背景下的优秀教学工具，它通过高度仿真的虚拟环境，为学生提供了一个安全、经济、开放、灵活的实验操作平台^[3,4]。

本研究旨在探索将虚拟仿真平台深度嵌入到智慧化课堂的整体建设中，构建一种线上线下混合、理论实践即时贯通的新型教学模式，以期显著提升《化工仪表及自动化》课程的教学质量与成效。

一、智慧化课堂与虚拟仿真融合的教学模式构建

本研究构建的教学模式以“学生为中心、产出为导向”的 OBE 理念为指导^[5]，以虚拟仿真平台为核心技术支撑^[6]，以智慧教学环境为组织管理枢纽^[7-9]，形成一个前后衔接、线上线下循环反馈的有机整体。

（一）课程目标的重塑

混合式教学模式旨在实现以下多维课程目标：

课程目标 1：能够灵活应用化工自动化基本原理与控制系统构成，能够准确描述自动控制系统的基本

课题项目：教育部产学研合作协同育人项目“校企合作下的化工仪表及自动化教学模式探究与实践”（220600501281656）；齐鲁理工学院教学改革项目（ZKT202203）。

组成部分,并能绘制自动控制系统的方框图、流程图等表示形式。能够学会化工过程特性及其数学模型,运用检测仪表与传感器的工作原理解决实际生产中的问题,学生能够描述化工过程的基本特点,以及如何使用数学语言来描述化工过程。

课程目标 2:能够根据自动控制仪表的工作原理与控制策略选择和使用执行器,学会典型化工单元的自动控制原理,能够编写简单的控制程序实现特定控制功能,并根据控制系统需求选择合适的执行器,以及执行器的安装和维护方法。

课程目标 3:具有不断获取新知识的能力和团队协作能力;养成严谨求实的科学态度和精益求精的工匠精神,初步树立工程意识和节能环保意识;树立深厚执着的爱国情怀和勇于探索的创新精神。

(二) 教学内容的模块化重构

将课程内容与虚拟仿真平台的实验项目进行对应整合,设计成四大教学模块,相应知识模块与虚拟仿真项目关系见表 1^[10],虚拟仿真及 DCS 控制界面如图 1 所示。

1. 基础认知模块

包括过程特性及其数学模型的验证,压力、流量、温度、液位四大参数的检测仪表^[11]。学生学习理论后,立即在虚拟仿真平台上进行校验操作,通过动画演示直观感受,讲虚拟仿真实验中得出的结论与教材中学习的理论知识进行对比,使学生理解更深刻形象。

2. 简单控制模块

讲解控制系统组成、PID 规律后,学生在虚拟环境中搭建液位、液位简单控制系统,进行“阶跃响应测试”,观察不同 P、I、D 参数下系统的控制曲线,

深刻理解参数变化对系统稳定性、准确性、快速性的影响。

3. 复杂系统与方案设计模块

引入串级复杂控制系统的结构及组成,学生在平台上自主设计串级控制方案,并对主、副控制器的参数进行整定,最后对不同方案的控制效果进行对比验证,培养系统设计与优化能力。

4. 抗干扰应急处理模块

利用平台后台设置模拟干扰作用(研究阶跃干扰分别作用于主对象、副对象对主控制量参数的波动),学生小组协作,根据工艺现象分析干扰特性,调节控制器参数以消除干扰,锻炼工程实践中的应急操作能力。

(三) 教学流程的再设计:以“课前一课中—课后”为主线

1. 课前自主探究

通过智慧教学平台(学习通)发布预习任务,包括微课视频、理论知识文档和虚拟仿真预习任务(如“在虚拟仿真平台预习单容水箱液位特性的测定实验内容”)。学生在课前完成线上自学和初步探索,平台自动记录学习数据。教师根据平台的预习反馈数据,精准把握学情,调整课堂教学重点。

2. 课中内化与实践

(1)理论精讲与演示(线下智慧教室):针对重点、难点进行精讲,并利用虚拟仿真平台的教师端,实时投屏演示关键实验操作,如 PID 参数整定的步骤与技巧。

(2)分组虚拟实训(线上+线下):学生以小组为单位,在个人计算机或平板上登录虚拟仿真平台,完成当堂课的实验任务(如单闭环液位控制系统控制器参数的整定)。教师通过智慧课堂系统监控所有小

表 1 教学模块与虚拟仿真项目关联设计

序号	模块名称	实验项目	支撑知识点
1	基础认知模块	单容水箱液位特性的测试	一阶对象数学模型的建立
		热水箱内温度特性的测试	
		双容水箱液位特性的测试	二阶对象数学模型的建立
		电动调节阀流量特性的测定	电动调节阀的结构、工作原理及其流量测定的测定
2	简单控制模块	液位定值控制系统	简单控制系统组成、比例控制、积分控制、微分控制、PID 控制器、控制器参数整定
		电动阀支路流量的定值控制系统	
		变频调速磁力泵支路流量的定值控制系统	
3	复杂控制模块	液位与电动调节阀支路流量的串级控制系统	串级控制系统特点、副回路的确定、主、副控制器控制规律的选择及正、反作用的确定
4	抗干扰应急处理模块	液位与变频调速离心泵支路流量的串级控制系统	控制器参数的工程整定

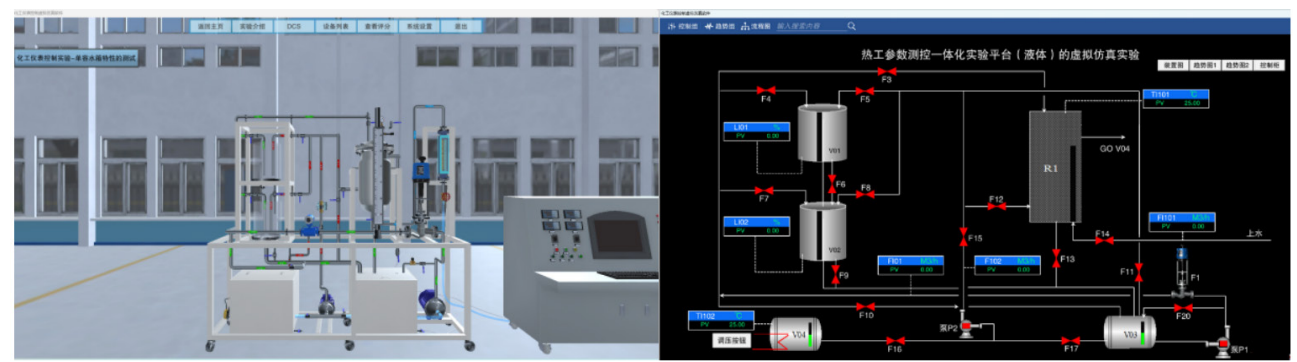


图 1 化工仪表虚拟仿真及 DCS 控制界面示意图

组的实时操作进度和实验结果，对遇到困难的小组进行个性化指导。

（3）成果展示与研讨：小组完成后，通过屏幕共享展示本组的控制曲线和参数设置，阐述设计思路。引导全班同学进行讨论和互评，针对共性问题进行深度剖析，实现知识的内化与升华。

3. 课后拓展与巩固：通过发布更具挑战性的拓展性虚拟实验项目（如设计一个更复杂的精馏塔控制系统）或线上测验。学生可随时随地登录平台进行反复练习和探究，巩固学习成果。所有学习行为数据被智慧教学平台和虚拟仿真平台记录，形成过程性评价依据^[12]。

（四）多元考核评价体系的建立

改变“一考定乾坤”的传统方式，建立基于数据的全过程、多元化考核体系，针对课程目标所设置的具体考核环节见表 2 所示。

过程性考核（50%）：包括课前线上学习（教学视频观看、线上讨论、线上章节测验等）（6%）、习题作业（6%）、小组任务（12%）、课堂笔记（6%）、单元测验（20%）。

成果性考核（20%）：期末虚拟实验大作业，要求学生独立完成一个综合性的控制系统设计、整定与优化项目，并提交实验报告。

终结性考核（30%）：期末笔试，侧重考核对控制系统组成、仪表工作原理和概念的理解，以及对虚

拟实验现象的分析能力。

二、虚拟仿真实验平台的应用优势与实践案例

（一）应用优势

虚拟仿真实验平台在本模式中并非简单的实验工具替代，而是作为连接理论与实践的“桥梁”和“赋能器”，其应用优势突出体现在：

1. 高度仿真的沉浸感：平台三维建模还原真实化工场景和设备，学生可自由漫游、缩放、旋转观察，甚至进行“爆炸式”拆解，将抽象结构具体化。

2. 安全的“试错”环境：学生可进行在现实中绝对禁止的操作，如大幅度调节阀门、设置错误的 PID 参数导致系统振荡甚至“爆炸”。平台会模拟出相应的后果，但这种“失败”代价为零，却能让学生留下极其深刻的印象，深刻理解规范操作的重要性。

3. 强大的数据处理与可视化能力：平台能实时生成并记录系统的响应曲线，学生可以清晰地看到参数微调如何影响系统性能，将枯燥的数学公式转化为直观的图形语言，极大降低了 PID 参数整定等知识点的学习门槛。

4. 突破时空限制：学生只需一台联网的计算机，即可随时随地进行实验，满足了复习、补学和深入探究的需求，实现了“每人一台实验设备”的梦想。

（二）实践案例：液位定值控制虚拟仿真实验

在化工工艺生产过程中，液位控制是较常见的控制变量。融合虚拟仿真与智慧课堂的教学模式下，具

表 2 针对课程目标的考核环节设置

课程 目标 序号	支撑考核环节及分值							课程目标分值
	过程性考核					成果性考核	终结性考核	
	平时考核				单元测验	虚拟实验大作业	期末考试	
	线上学习	小组任务	课堂笔记	习题作业				
1	3	3	2	1	5	2	5	21
2	2	4	3	3	10	10	15	47
3	1	5	1	2	5	8	10	32
占比（%）	6	12	6	6	20	20	30	100

体的实施过程如下:

1. 课前:学生观看液位特性、简单控制系统结构及组成的微课视频,在虚拟仿真平台上初步认识水箱液位控制系统的虚拟界面和各检测控制点。

2. 课中:教师精讲水箱液位定值控制系统方框图和所采用的合适的控制器控制规律。

任务驱动:各小组在平台上,尝试设计一个控制方案,使水箱液位稳定在设定值。

探索与失败:学生最初可能只采用简单的单回路控制,发现系统波动大、恢复慢。通过观察曲线,他们自发地意识到需要引入串级、前馈等复杂方案。

协作与成功:小组查阅资料、讨论,在平台上尝试多种方案,最终找到一个相对稳定的控制策略,并完成控制规律(PID)的参数整定。

3. 课后

教师发布分析题:“比较不同控制方案下,进料流量波动对塔顶温度的影响”,要求学生利用平台的“历史回放”功能截取曲线进行分析,撰写分析报告。

通过这个完整的探究过程,学生不仅学会了知识,更掌握了解决复杂工程问题的方法论。

三、教学实践效果与分析

经过一学期的教学实践,通过问卷调查、学生访谈、成绩对比等方式,对改革效果进行了评估:

1. 学生学习兴趣与主动性显著提升:问卷显示,超过85%的学生认为虚拟仿真实验“非常有趣”或“比较有趣”,80%的学生表示会主动在课后进行额外的实验探索。

2. 理论知识掌握更加扎实:期末考试成绩分析显示,实验班学生在“控制系统分析”、“PID参数影响”等主观分析题上的平均得分较往年传统教学模式下有所提高。

3. 工程实践能力与创新思维得到有效锻炼:学生提交的虚拟实验大作业方案多样,体现了良好的设计思维和问题解决能力。

4. 教学满意度大幅提高:学生评教分数和正面评价数量创历史新高,普遍认为“课程变得生动了”、“终于搞懂了PID是怎么回事”、“虽然是在电脑上操作,但感觉真的像在工厂里处理问题一样”。

四、总结与展望

本研究将化工仪表控制虚拟仿真实验平台与智慧化课堂建设深度融合,成功构建了“线上虚拟仿真—线下智慧互动”的混合式教学模式。实践证明,该模式有效破解了《化工仪表及自动化》课程的传统教学困境,实现了“教学手段信息化、实践训练个性化、

能力培养综合化”的目标,显著提升了学生的工程素养和创新能力。

未来的改进方向包括:其一,探索将虚拟仿真操作与少量的实体实验装置进行联动,形成“虚实结合”的更高级形态;其二,深化与化工企业的合作,将更多真实的工业案例和数据融入虚拟仿真项目库中,进一步增强教学的针对性和前沿性;其三,利用平台积累的大数据,对学生学习行为进行更深入的分析,实现更精准的学情诊断和教学干预。

总之,以虚拟仿真和智慧课堂为代表的信息技术,正在深刻改变工程教育的面貌。主动拥抱变革,进行教学理念、内容和方法的系统性创新,是培养适应未来智慧化工产业需求的卓越工程人才的必由之路。

参考文献:

- [1] 厉玉鸣,李大学.化工仪表及自动化(7版)[M].北京:化学工业出版社,2024.
- [2] 教育部.《教育信息化2.0行动计划》[Z].2018.
- [3] 沈文浩,刘寅,陈逸凡,等.虚拟仿真技术在《化工仪表与自动化》教学中的应用[J].造纸科学与技术,2023,42(4):94-99.
- [4] 李志义,等.“新工科”建设背景下化工类专业实践教学体系改革[J].高等工程教育研究,2020(2):45-50.
- [5] 顾仁勇,李运通,滕远,等.基于OBE理念的地方高校化学化工类专业实践教学体系构建——以吉首大学化学化工学院为例[J/OL].大学化学,2025:1-8.
- [6] 沈文浩,刘寅,陈逸凡,等.虚拟仿真技术在《化工仪表与自动化》教学中的应用[J].造纸科学与技术,2023,42(4):94-99.
- [7] 郭琰.工院校智慧课堂生态的构建框架与路径研究[D].天津大学,2021.
- [8] 唐一丹.信息技术下智慧课堂教学设计策略研究[D].西南大学,2022.
- [9] 徐蕴,李龙凤,陈惜明,等.“互联网+”背景下智慧课堂教学模式的构建:以高校“化工基础”课程为例[J].科技与创新,2022(17):107-110.
- [10] 欧贝尔软件有限公司.化工仪表及自动化控制虚拟仿真软件V2.0用户手册[Z].2022.
- [11] 戴连奎,张建明,谢磊.过程控制工程[M].4版.北京:化学工业出版社,2020.
- [12] 朱明.“项目式教学+人工智能”的化工仪表与自动化课程教学改革实践[J].大学,2025(23):104-107.