

新工科背景下过程控制虚拟仿真实践体系构建

朱建军

吉林化工学院信息与控制工程学院，吉林省吉林市

摘要：针对传统“过程控制”课程实践教学中的设备不足、内容模式化及“两性一度”内涵薄弱等问题，本文提出“三平台三层次”虚拟仿真实实践教学体系。该体系以基础技能、专业实践和创新实践为递进层次，依托三级液位控制仿真实训系统、Factory IO与SMPT-1000等多平台融合，实现从理论验证到复杂工程问题解决的能力提升。实践表明，该体系显著提高了学生的创新思维、跨学科综合能力及工程实践素养，为“新工科”背景下自动化专业人才培养提供了有效路径。

关键词：过程控制；实践教学；“三平台三层次”

Construction of Virtual Simulation Practice System for Process Control Under the Background of Emerging Engineering Education

Jianjun Zhu

School of Information and Control Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin, Jilin

Abstract: Aiming at the problems existing in the practical teaching of traditional process control courses, such as insufficient equipment, formulaic content patterns, and weak connotation of “high-level, innovative, and challenging qualities”, this paper proposes a “Three-Platform and Three-Level” virtual simulation practical teaching system. This system follows a progressive structure of basic skills, professional practice, and innovative practice, relying on the integration of multiple platforms including the three-level liquid level control simulation training system, Factory IO, and SMPT-1000 to achieve capability enhancement from theoretical verification to complex engineering problem-solving. Practical results demonstrate that this system significantly improves students’ innovative thinking, interdisciplinary comprehensive abilities, and engineering practice literacy, providing an effective pathway for cultivating automation professionals under the context of Emerging Engineering Education.

Keywords: Process Control; Practice Teaching; Three-Platform and Three-Level

“新工科”教育以培养解决复杂工程问题的创新人才为核心目标，强调“以学生为中心”的实践教学模式。在此背景下，“过程控制”作为自动化专业的核心课程，其教学需通过实践环节强化学生对控制理论的应用能力与工程素养。然而，当前传统实践教学面临多重瓶颈：其一，实验设备资源匮乏，导致学生操作机会不足；其二，实验验证性内容多，综合性设计性少；其三，“高阶性、创新性、挑战度”内涵薄弱，难以支撑沉浸式、探究式学习。上述问题严重制约了学生从理论到实践的转化效率，亟需通过技术赋能实现教学改革[1]。

虚拟仿真技术通过高交互性、多场景模拟与动态可视化，为突破传统实践桎梏提供了新路径[2]。本研究旨在“新工科”背景下通过将“过程控制”实践课程与虚拟仿真技术相结合，为自动化专业实践教学模式改革提供一种可复制的参考范式。

1 “过程控制”实验教学面临的问题

(1) 教学资源与设备方面的限制

吉林化工学院自动化专业实验室共有7套过程控制实验系统，2021级有5个班200余人需要完成12学时实验，设备和学生比是1:28.6，由于设备数量有限，许多学生无法直接参与实验操作，而只能作为观察者或辅助者，导致学生无法充分理解和掌握实验原理和操作过程，不能锻炼和提升学生动手能力。同时，由于实验设备需要频繁使用以满足大量学生的需求，这也会导致设备的损坏，不仅增加维修成本，也会影响后续实验的正常进行。

(2) 教学模式与方法的局限性

传统实验教学往往采用实验教师现场讲解实验原理、演示操作步骤，学生在教师的指导下按规定步骤进行实验。这种教学方式虽然能够确保实验的顺利进行，但学生只是按照既定的步骤和程序进行操作，学生学习兴趣和积极性不高，难以培养独立

思考和解决问题的能力。

(3) 实验内容单一且缺乏综合性

实验教学以验证性实验和基础性实验为主，实验步骤固定，缺乏综合性。学生实验过程中按照既定的步骤和程序进行操作，难以形成对“过程控制”系统全面而深入的理解。例如，实验可能仅仅关注于某一特定控制算法的验证，而忽视了与其他控制算法或系统组件之间的关联和互动[3]。

2 “三平台三层次”的过程控制虚拟仿真实验体系

2.1 三层仿真平台构建

本文以“过程控制”实践课程为研究对象，构建“三平台三层次”虚拟仿真实验体系，如图1所示。

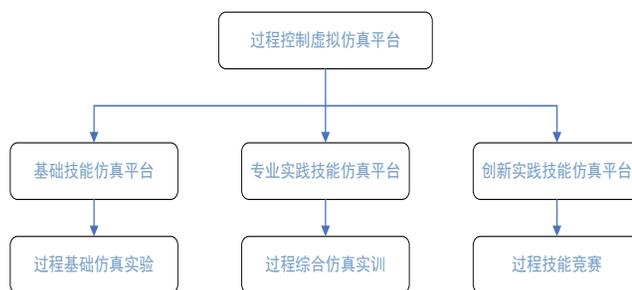


图1. “三平台三层次”过程控制虚拟仿真实验体系

该体系以基础技能、专业实践与创新实践为递进层级，融合三级液位控制系统、Factory IO与SMPT-1000等多平台工具，支持学生从PID参数整定、PLC编程到复杂工程优化的全流程训练。“三平台三层次”实验体系所涉及内容如表1所示。

2.1.1 基础技能仿真平台

基础仿真平台是一款“三级液位控制仿真实训系统”，如图2所示。

该平台旨在夯实学生的基础知识，学生可模

表1 “三平台三层次”实验体系对比

层次	平台工具	核心功能	培养目标
基础技能	液位控制系统	系统特性分析、参数整定	基本操作能力
专业实践	Factory IO、TIA Portal	PLC编程、HMI监控、算法集成	综合应用能力
创新实践	SMPT-1000、PCS7	复杂系统设计、工程优化与竞赛项目	解决复杂工程问题能力

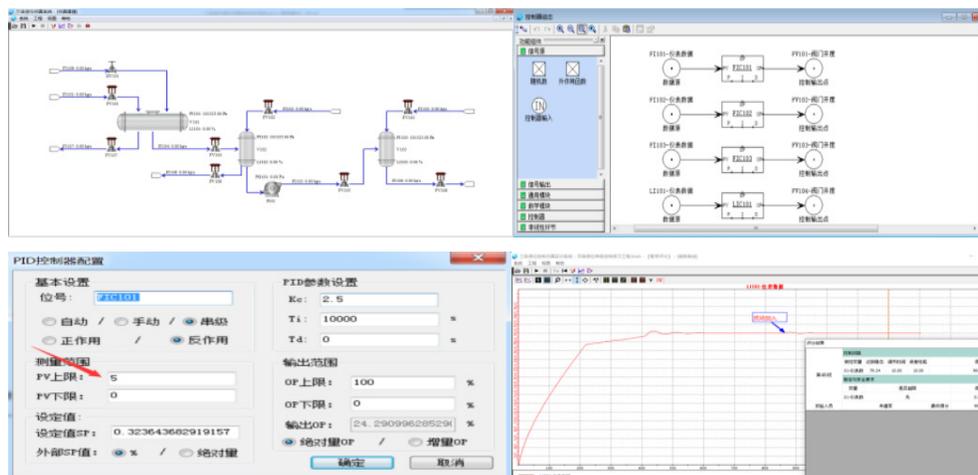


图2. 虚拟仿真平台

拟真实工业液位各种工况下系统状态响应的动态特性，可自行设计被控对象尺寸以及执行机构属性；可使用软件控制系统组态功能和趋势曲线分析功能开展控制方案、控制算法的设计与验证；可以通过系统内置的智能评分系统根据预设的评分规则，实验过程进行评估和打分，从而验证控制策略和评估控制效果，使学生了解工艺对象特征、掌握不同控制系统的投运与参数整定及控制质量的评价方法。

2.1.2 专业实践技能平台

专业实践技能平台是“三平台”的核心，是由一层基础技能向设计、综合实践性技能转变的关键。该层主要依托Factory IO结合Matlab和TIA Portal等软件搭建仿真环境。通过该平台学生可实现多种控制策略的验证；利用PLC编写信息采集和转换程序；采用FACTORY IO搭建用作控制的被控对象；利用HMI曲线实现对结果的分析与校验[4]。该环节提高了学生自主学习和对过程控制系统的认知和理解能力，为培养和提高创新性技能打下基础。

2.1.3 创新实践技能平台

三层高级多功能过程与控制实训系统SMPT-1000以在PCS7 进行工程项目实施为主，项目更加接近真实系统，项目工艺机理更复杂，系统投运过程中对生产原料循环使用、公用工程消耗、设备安全等工程要素均需要学生考虑，使学生在掌握DCS

系统工程实施技能的基础上，增强创新意识，提高创新能力。同时，SMPT-1000实验装置是中国智能挑战赛流程行业自动化方向的指定比赛设备，鼓励学生参加竞赛，以赛促学，提升学生综合分析解决问题和实践创新能力。

2.2 三层级递进式仿真实践项目设计

开展虚拟仿真实训项目，不仅能够有效提升实训效率，减少资源投入与浪费，还能通过高度模拟仿真工作环境，为学生提供一个从简到繁、单一到综合，最终实现解决实际工程问题的学习路径，如图3所示。

2.2.1 一层仿真实验项目设计

一层实训项目主要依托“三级液位控制仿真实训系统”，将“过程控制”理论知识可视化，课程基础知识及的实验内容与测试体系如表2所示。通过本层实训过程，学生可以熟悉系统投运及PID参数整定的步骤，为后续提升实践技能打好扎实的理论知识和软件的操作能力。

2.2.2 二层仿真实践项目设计

二层仿真实训以构建复杂工业场景为核心目标，通过虚拟环境构建、控制系统设计、监控与报警系统开发及先进算法集成四大模块，如图4所示，深化学生对流程控制、参数优化及多学科协同

应用的实践能力。

基于FACTORY I/O平台搭建数字化虚拟工厂，学生可通过三维交互界面模拟物料流动、设备联动及生产调度过程。例如，在“液体混合控制”项目中，学生需配置储罐、泵阀与传感器，并设计物料配比逻辑。同时，在TIA Portal环境中，学生使用Step 7 Professional编写PLC控制程序，实现设备启停、控制算法及安全连锁功能。通过WinCC组

件构建SCADA监控界面，实时采集设备参数并生成趋势曲线。此外，需配置OPC UA通信协议，将Matlab开发的先进控制算法（如模糊PID、模型预测控制）与PLC程序集成，实现算法实时验证。

二层仿真实训项目要求学生将自动化、控制理论、计算机网络等多个学科的知识融合在一起，培养了学生综合应用能力。通过编写先进控制算法和优化虚拟工厂的生产流程，学生可以发挥创新思

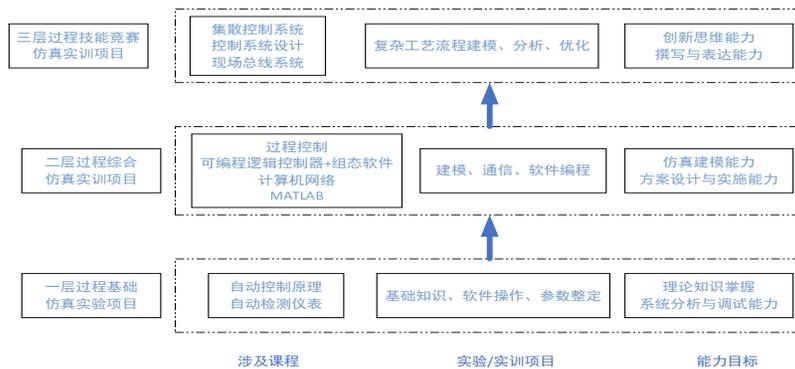


图3. 三层级递进仿真实训项目

表2. 可开设的实验项目

实验名称	实验内容	涉及的知识点
单容水箱系列实验	系统测试	单容系统特性
	系统投运及PID参数整定	PID控制
		串级控制
双容水箱系列实验	系统测试	比值控制
	系统控制投运及PID参数整定	双容系统特性
		PID控制
		串级控制
		比值控制

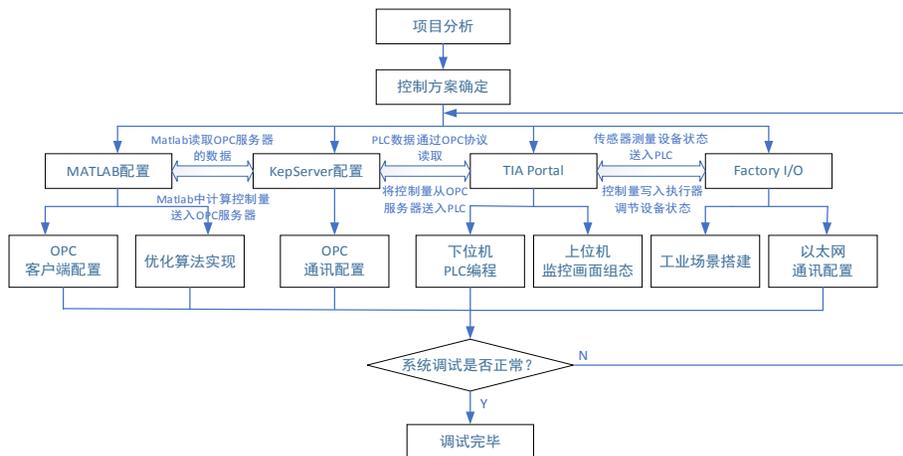


图4. 二层仿真实训项目架构

维, 提出新的解决方案和优化策略。

2.2.3 三层仿真实训项目创建

基于前两阶段的技能积累, 第三层次依托 SMPT-1000高级过程控制实训系统(中国智能制造挑战赛指定平台), 聚焦复杂工程问题的系统性解决方案设计。学生需综合运用自动化、控制理论与系统工程知识, 完成以下核心任务:

(1) 开放性竞赛项目仿真实现

通过MATLAB/Simulink与PCS7软件, 学生需构建涵盖物料循环、能量平衡与安全约束的工业级控制模型。以“反应器”项目为例, 学生需建立多变量状态空间模型, 模拟实际工况下的动态响应[5]。通过仿真分析, 识别系统瓶颈(如振荡超调、响应滞后), 并提出结构优化方案。

(2) 创新性控制策略开发与验证

鼓励学生突破传统PID框架, 尝试模糊控制、自适应控制等先进算法。例如, 在“反应釜温度控制”任务中, 学生需对比PID与模型预测控制(MPC)的能效差异, 并通过OPC UA协议将算法嵌入DCS系统实时验证。此类实践不仅强化算法设计能力, 还推动学生从“技术应用”向“技术创新”跨越。

3 结束语

本文针提出的“三平台三层次”实践教学方法通过分层次、递进式的实践环节设计, 使“过程控制”

课程不仅具有高阶性、创新性和挑战度, 还能够在学习过程中稳步提升学生的专业技能和综合素养。每一层次都紧密围绕课程核心内容展开, 同时注重跨学科知识的融合与创新实践的结合, 为学生提供了丰富的实践机会和广阔的发展空间。通过这一教学方法的实施, 有望有效解决实践环节的痛点问题, 培养出更多具有创新精神和实践能力的高素质人才。

致谢

本文由基金项目: 吉林省高教科研课题(JGJX2022D284)资助。

参考文献

- [1] 王宏伟, 张继研, 王海霞, 徐占国. “过程控制”实验课程与虚拟仿真融合的实验教学建设[J]. 工业和信息化建设, 2022(10): 17-22.
- [2] 沈继. 过程工业虚拟工厂及操作员培训系统的应用[J]. 石油化工自动化, 2024, 60(3): 24-28.
- [3] 张继研, 刘涛, 郝首霖, 等. 基于工程教育认证标准的过程控制仪表及装置实验教学改革[J]. 高教学刊, 2023, 9(25): 142-145.
- [4] 窦东阳, 王艳飞, 王启立. 过程控制技术课程虚拟仿真实验教学系统建设与翻转课堂实践[J]. 创新创业理论与实践, 2023, 6(13): 30-33.
- [5] 于赫洋, 白瑞峰, 王超, 等. 面向酿造过程的复杂系统控制虚拟仿真实验教学改革[J]. 实验研究与探索, 2023, 42(10): 244-248.

