

Exploration of Teaching Reform for Experimental Course of Automatic Control Principles Driven by Engineering Certification

Tongtong Xu Guifang Wang Nana Chen Zhenzhen Wang Shangfang Cheng

Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710049, China

Abstract

Guided by engineering education accreditation principles, this study implements systematic reforms for the "Principles of Automatic Control" laboratory course. By establishing a "one core with dual components and three-tier progressive structure" teaching framework, we redesigned multi-level experimental content encompassing foundational knowledge, design applications, and innovation practices. The dual-track teaching model integrating closed-loop inquiry and project-based learning was adopted, with structured ideological education case studies organically incorporated throughout the instructional process. A comprehensive formative assessment system covering pre-class preparation, in-class instruction, and post-class evaluation was established. Practical outcomes demonstrate that these reforms significantly enhanced students' capabilities in solving complex engineering problems, improved innovative practice competencies, and strengthened professional value recognition. The substantial teaching effectiveness provides a systematic practical model and reference pathway for curriculum reform in similar disciplines.

Keywords

engineering certification; control principles; experimental teaching

工程认证驱动下《自动控制原理》实验课程教学改革探索

徐彤彤 王桂芳 陈娜娜 王珍珍 程上方

西安交通大学, 中国·陕西 西安 710049

摘要

基于工程教育专业认证理念, 针对《自动控制原理》实验课程开展系统性改革。通过构建“一体两翼、三阶递进”的教学体系, 重塑“基础—设计—创新”多层次实验内容, 实施“闭环探究”与“项目式”双轨教学模式, 将结构化思政案例有机融入教学全过程, 并建立覆盖“课前—课中—课后”的多维过程性评价体系。实践表明, 改革有效提升了学生解决复杂工程问题的能力、创新实践素养与职业价值认同, 教学成效显著, 为同类课程的改革与建设提供了系统的实践范例与参考路径。

关键词

工程认证; 控制原理; 实验教学

1 引言

随着全球工程教育改革的深入推进, 以“学生中心、产出导向、持续改进”为核心的工程教育专业认证, 已成为我国提升工科人才培养质量、实现国际实质等效的关键举措^[1-3]。它不仅以培养学生解决复杂工程问题的能力为最终

目标, 突出对实践教学环节的考察, 要求构建完善的实践教学体系, 以夯实学生的工程实践与创新能力; 更在专业知识与技能之外, 强调对团队协作、沟通表达、职业道德与社会责任等非技术性素养的综合培养, 其根本宗旨在于全面落实“立德树人”根本任务, 造就德才兼备、全面发展的新时代卓越工程师。

《自动控制原理》作为能源动力、自动化、电气、机械等众多工科专业的核心基础课程, 理论严密、实践性强, 是培养学生系统思维、工程设计与分析能力的关键载体。实验教学作为衔接理论知识与工程实践的桥梁, 在锤炼学生工程能力与创新精神方面具有不可替代的作用。然而, 传统实验课程模式仍存在明显局限: (1) 实验内容多局限于验证性项目, 缺乏与复杂工程背景的关联; (2) 教学方式常流于“照

【基金项目】2024年西安交通大学本科教学改革研究项目“基于人工智能的热工自动控制实验教学模式创新与实践”(项目编号: 2412Z)。

【作者简介】徐彤彤(1987-), 女, 中国山东泰安人, 硕士, 工程师, 从事测控测试技术与虚拟仿真实验教学研究。

方抓药”，学生被动执行，难以激发批判性思维与主动探索意识；(3) 考核评价偏重结果而忽视过程，未能充分体现学生在实验中所应展现的严谨求实态度、团队协作精神以及对工程安全、环境与社会影响的深入思考；此外，课程思政元素的系统性融入普遍不足。这些问题与工程认证所倡导的“产出导向”与全方位育人理念存在显著差距^[4-6]。

因此，在工程认证视域下，对《自动控制原理》实验课程进行系统性改革势在必行。本文将“立德树人”这一新时代教育根本任务与工程教育专业认证理念紧密结合，围绕课程思政建设、实验教学内容、教学模式与评价体系等方面展开改革实践，以期实现知识传授、能力培养与价值引领的有机统一。

2 自动控制原理实验教学改革措施

2.1 构建“一体两翼、三阶递进”的实验教学体系

为适应新工科建设对高素质创新型、复合型人才培养的迫切需求，以工程教育专业认证理念为根本遵循，构建了“一体两翼、三阶递进”的自动控制原理实验教学新体系。该体系以“工程能力、创新思维与价值引领融为一体”为根本目标，以“问题引导”与“项目驱动”为双翼支撑，在“基础验证—综合设计—研究创新”三层次实验项目中，系统融入思政案例库支撑的价值元素，使课程思政在能力递进中全程贯通、有机浸润，并通过多元过程性评价机制，实现知识、能力与素养的协同发展，具体实验教学体系框架见图 1。

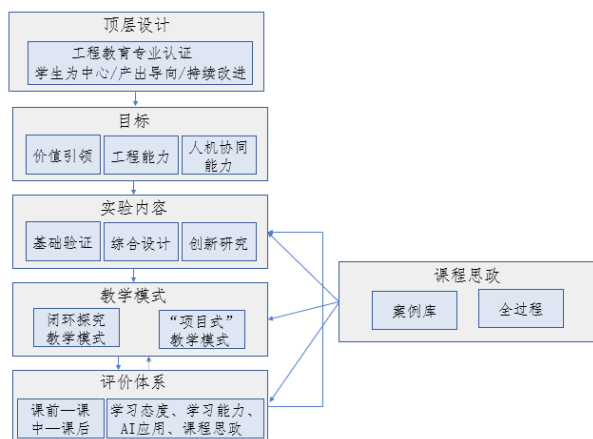


图 1 教学体系框架图

2.2 构建多层次递进、虚实互补、前后衔接的实验教学内容

根据 OBE（成果导向教育）理念，并紧密对接专业毕业要求的具体指标点，对“自动控制原理”实验教学内容进行了系统优化。改革以“重基础、强实践、促创新”为原则，构建了“验证性—设计性—创新性”多层次、递进式、虚实结合、前后衔接的实验教学新体系。具体改革措施如下：

(1) 夯实基础，强化理论认知：为落实“重基础”的要求，整合并保留了核心的验证性实验（如控制系统电子模

拟实验）。这些实验旨在帮助学生巩固核心理论知识，理解系统特性，为后续学习打下坚实基础。

(2) 拓展设计，激发自主探究：增设多个主题的设计性/综合性实验项目（如基于频率法的串联超前校正设计等），学生可根据兴趣和职业规划自主选择。这一层次重点培养学生综合运用理论与独立设计系统的能力，完成从“理解知识”到“应用知识”的跨越。

(3) 开放创新，推动学科交融：遵循“科教融汇、产教融合”理念，引入与能源动力专业前沿紧密结合的创新性、研究性实验项目（如：智慧热网中的分布式温度-流量协同控制实验）。此类项目作为开放选修内容，鼓励学有余力、有志深入探索的学生开展研究，旨在培养其解决复杂工程问题的创新思维和初步科研能力。

2.3 构建数字赋能下闭环探究与项目驱动的多元教学模式

在数字技术赋能教育的背景下，为深入贯彻“以学生为中心”的教育理念，系统培养其运用智能工具解决复杂工程问题的能力，针对不同层次的实验内容，实施了差异化的教学模式：

“问题导向、数字赋能、迭代优化”的闭环探究教学模式：为突破传统实验授课的局限，充分挖掘验证性与设计性在培养学生实践能力、设计思维与专业根基方面的潜力，对验证性与设计性实验进行教学创新，具体包括：发布开放性预习任务、学生进行预习及分组研究实验预案、开展启发式课堂讲授以及实施综合型考核评价等环节。该模式以源于专业领域的工程问题为驱动，依托数字化工具全面赋能教学全过程，通过“课前初探-课中深化-课后迁移”的迭代循环，推动学生工程思维与创新能力的阶梯式发展。以“典型环节及二阶系统电子模拟实验”为例，通过实施上述创新改革（具体措施如图 2 所示），原有的验证性实验得以转化为拓展性综合实验，进一步助力学生构建自主学习和创新实践能力，提升其发现问题、分析问题与解决问题的综合素养，从而实现了依托基础实验培育卓越工程人才的教学目标。



图 2 “典型环节及二阶系统电子模拟实验”教学模式设计

“工程引领、自主探究、全程互动”的项目式教学模式：为系统化培养学生的创新与实践能

施了项目式教学模式改革。该模式以学生为项目主体,借鉴科研项目申请书的形式重塑实验流程,引导学生建立“提出问题—分析问题—解决问题”的完整科研思维闭环。以“火电机组蒸汽温度控制实验”为例,学生需聚焦实际工程问题,通过文献调研掌握系统工艺与动态特性,剖析传统控制方法的局限性,明确控制难点与工程需求,进而提出并论证一种

先进控制策略(如模糊PID、Smith预估器、自抗扰控制等),并规划从建模、仿真到性能对比的完整技术路线。在此过程中,教师角色由传统主导者转变为项目引导者与评审专家,通过全程互动指导,强化以学生为中心的探究式学习,切实提升拔尖创新人才的培养实效。具体教学阶段划分与任务安排见表1。

表1 创新性实验“项目式”教学模式阶段安排

阶段	核心任务	具体内容
第一阶段: 方案设计	撰写开题报告	1、文献综述:调研火电机组蒸汽温度系统的工艺、动态特性(惯性大、滞后大、非线性)及传统PID、串级控制的局限性。
		2、问题分析:明确控制难点与工程需求(如:抗干扰能力、设定值跟踪速度)。
		3、方案论证:提出并论证至少一种先进控制策略(如:模糊PID、Smith预估补偿、自抗扰控制等),阐述其原理与预期优势。
		4、技术路线:规划从“建模→仿真→控制器设计→性能对比”的完整研究路径。
第二阶段: 仿真实验	完成建模与仿真验证	1. 模型建立:基于机理分析或系统辨识方法,在Mworks中构建蒸汽温度被控对象的近似数学模型。
		2. 控制器实现:在仿真环境中编程实现自己所提出的先进控制策略,并与传统串级PID进行对比仿真。
		3. 性能分析:设定阶跃扰动、负荷变化等工况,定量分析各控制系统的超调量、调节时间、稳态误差等性能指标。
第三阶段: 总结与答辩	提交报告并进行答辩	1、报告撰写:以科研论文或技术报告的形式撰写最终报告,内容包括:摘要、引言、问题描述、控制器设计、仿真结果与分析、结论与展望。
		2、成果答辩:以项目组为单位进行公开答辩,展示设计方案、仿真结果和创新点,并回答教师与其他同学的提问。答辩成绩计入最终评价。

2.4 思政教育贯穿实验教学全过程

围绕“立德树人”的根本任务,对自动控制原理实验教学进行了系统化的思政教学设计,明确各实验环节所承载的知识目标、能力目标与价值目标^[7-9],实现“知识传授—能力培养—价值引领”的有机统一。在此基础上,深度挖掘与课程内容紧密相关的思政元素,涵盖系统思维、哲学方法、科学精神、工程伦理与家国情怀等多个维度,构建了结构化、可复用、成体系的课程思政教学案例库,并将其系统融入实验教学全过程。

在典型环节电子模拟实验中,引导学生理解“复杂系统由典型环节构成”的基本原理,进而领悟“复杂源于简单、整体基于局部”的系统思维与哲学观念;在二阶系统动态特性分析实验中,通过对系统响应快速性、稳定性之间辩证关系的分析,培养学生把握关键、统筹兼顾的工程思维;在高阶系统近似简化实验中,以“保留主导极点、忽略次要极点”的模型降阶思想为切入点,自然融入“抓住主要矛盾、聚焦矛盾主要方面”的马克思主义哲学方法;在PID控制器整定实验中,通过参数反复调试与性能优化的过程,引导学生体会精益求精、严谨求实的工匠精神;在稳态误差分析实验中,结合Mworks等国产自主仿真软件的研发历程与应用成效,激发学生的民族自豪感与科技报国的使命担当;在火电机组汽包液位、蒸汽温度控制等综合型实验中,着重强调系统可靠性、安全性与鲁棒性的工程意义,融入责任意识、伦理规范与工程素养教育,实现“工匠精神”与“工程伦理”

的内化与升华。

通过上述系统设计,课程思政不再孤立于专业知识之外,而是成为贯穿实验教学全过程的价值主线,助力培养具备扎实专业基础、系统思维能力与高尚职业情操的新时代自动化人才。

2.5 智能素养导向的全教学流程考核体系

由于ChatGPT、deepseek等人工智能工具在信息快速生成领域中的优越性不断提高,很多学生转而使用AI辅助其生成预习报告和实验报告,导致诊断性评价与总结性评价方式的准确性降低。与此同时,为顺应智能时代发展趋势,培养学生合理利用先进工具解决问题的能力,课程亦需将AI的规范性、批判性使用纳入能力评价范畴^[10]。

基于此,对自动控制原理实验课程的考核体系进行了系统性改革,构建了一套贯穿“课前—课中—课后”全教学流程、覆盖“学习态度—学习能力—智能素养—工程伦理”多维度、并针对“基础性—设计性—创新性”实验类型实施差异化评价的考核新体系^[11]。具体而言,基础性实验与设计性实验的考核侧重于操作规范、数据分析与知识应用(详见图3所示);而创新性实验则注重从文献查阅(15%)、方案设计(15%)、实验验证(40%)、答辩表现(10%)到实验总结报告(20%)的全过程综合评价。

通过这一改革,考核体系能够更精准地诊断学生在学习过程中的难点与能力短板,为教师动态优化实验教学内容与方法提供依据,从而推动形成以能力为导向、覆盖教学全

过程的“评价—反馈—改进”闭环，有效支撑工程创新人才的个性化培养。



图3 基础性与设计性实验考核体系

3 改革成效

实施改革以来，《自动控制原理》实验课程教学成效显著，具体体现如下：

(1) 学生高阶工程能力显著提升

依托“三阶递进”的实验体系，学生锻炼了从基础认知、综合设计到研究创新的能力。近年来，实验报告质量、方案创新性与仿真分析深度明显进步，部分学生依托创新实验成果在“全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛”等赛事中获奖，或发表学术论文，体现了创新实践能力的有效激发。

(2) 学生学习内驱力与主体性明显增强

“闭环探究”与“项目式”教学模式推动学生从被动执行转向主动构建。通过问题驱动、协作探究与AI辅助学习，学生不仅掌握了工具使用方法，更培养了信息甄别、方案论证与工程伦理意识。课堂参与度、协作质量与课后探索积极性显著提高，主动参与开放实验、大学生创新项目的学生人数是原来的1.5倍，学习过程真正实现从“完成任务”向“能力建构”转变。

(3) 课程思政实现有机融入与价值内化

思政案例库系统融入各实验环节，使价值引领如“盐溶于水”。学生在系统分析中领会辩证思维，在参数调试中体悟工匠精神，在国产软件使用中激发家国情怀。课程思政成为深化专业理解、塑造职业素养的内在动力，助推知识、能力与价值观协同发展。

4 结语

围绕工程教育认证的“学生中心、产出导向、持续改进”

理念，对《自动控制原理》实验课程进行了系统性改革，形成了从目标定位到实施评价的完整教学闭环。改革以“一体两翼、三阶递进”体系为统领，整合能力、思维与价值目标；依托“验证—设计—创新”递进式实验内容，构建虚实结合、逐级深化的能力训练路径；采用“闭环探究”与“项目式”相结合的差异化教学模式，强化学生的主体性与科研思维；通过结构化思政案例的自然融入，实现专业知识与价值引领的深度融合；并建立覆盖全过程、多维度、智能素养纳入的过程性考核机制，形成“评价—反馈—改进”的质量提升闭环。

实践表明，改革显著提升了学生的工程实践能力、创新研究素养和自主学习动力，课程思政实现“盐溶于水”式的育人效果。该改革为工程教育认证背景下的实验课程建设提供了可复制、可推广的系统化范例，对深化新工科人才培养具有积极的实践意义与借鉴价值。

参考文献

- [1] 陈绍华,孙杰,叶恒朋,等.工程认证背景下环境工程专业实验教学改革[J].实验室研究与探索, 2025, 44(4):146-150.
- [2] 刘银萍,宋亚男,曾思明,等.工程专业认证背景下的电气电子实验教学改革[J].实验室研究与探索, 2022, 41(10):221-225.
- [3] 高霞,潘会宾,乔成芳,等.专业认证背景下化学综合实验课程教学改革与实践[J].University Chemistry, 2024, 39(10).DOI:10.12461/PKU.DXHX202401078.
- [4] 李雪芳,范正平,李中华.新工科背景下“自动控制原理实验”教学改革[J].电气电子教学学报, 2025(4).
- [5] 王京锋,樊泽明,杨婷婷.自动控制实验课程混合式教学改革实践[J].实验科学与技术, 2024, 23(3):51-54, 61.DOI:10.12179/1672-4550.20230338.
- [6] 朱红霞,陈磐,薛锐.自动控制原理课程教学数字化转型探索与实践[J].大学教育, 2025(3):51-55.
- [7] 李房云,张怡欣.“大思政”格局下思政元素融入《自动控制原理》课程教学的研究与探索[J].才智, 2024(27).
- [8] 赵顺利.基于OBE理念的“自动控制原理”课程思政改革探索[J].教育观察, 2024(33).
- [9] 王春燕,房芳.课程思政改革在高校化学实验教学中的探索[J].实验室研究与探索, 2021.DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2021.04.049.
- [10] 卢莉璟,姚瑾,王利强,等.人工智能赋能包装工程实验教学改革探索[J].印刷与数字媒体技术研究, 2025(3):238-246.
- [11] 安翠娟,丁大伟,王国霞.工程教育专业认证背景下“自动控制原理”实验教学改革[J].电气电子教学学报, 2025, 47(2):203-209.