基于“理论与仿真并行，学用相融迭代共进”正向双循环的机电系统自动控制原理课程教学改革

陈亚，刘正文，康举
北京石油化工学院，北京 102617
DOI: 10.61369/ETR.2026270026

摘　　要： 机电系统自动控制原理课程教学内容繁杂，覆盖面广，教学存在知识碎片化、关联性不够；求知被动化、参与度不高；案例套路化、获得感不强等问题。为此提出“理论与仿真并行，学用相融迭代共进”正向双循环的教学改革思路。在教学内容、教学方法和手段等层面上实施系统性改革，实现理论学习与仿真验证同步推进、知识积累与工程应用深度融合、教学过程与能力培养迭代共进，着力培养学生扎实的控制理论基础与控制系统分析设计能力，彰显课程的方法性与实用性，为机电类专业高质量人才培养提供可行参考。
关 键 词： 自动控制原理；机电系统；理论与仿真并行；正向双循环

Teaching Reform of the Course "Automatic Control Principle of Electromechanical System" Based on "Parallel Theory and Simulation, Integration of Learning and Application, Iterative Progress" Positive Dual-circulation

Chen Ya, Liu Zhengwen, Kang Ju
Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617

Abstract: The course "Automatic Control Principle of Electromechanical System" involves diverse theoretical modules and cross-disciplinary knowledge points. This results in fragmented knowledge and poor relevance, passive learning and low engagement, outdated cases and limited sense of achievement. To address these issues, this paper proposes a positive dual-circulation teaching reform approach based on "Parallel Theory and Simulation, Integration of Learning and Application, Iterative Progress". Systematic reforms are implemented in teaching content, methods, and tools. These reforms focus on the simultaneous advancement of theoretical learning and simulation validation, deep integration of knowledge acquisition and engineering application, and the iterative and simultaneous advancement of the teaching process and ability training. These aim to cultivate students' solid foundation in control theory and their ability to analyze and design control systems, highlighting the practicality and methodological value of the course. It provides a practical reference for high-quality talent development in electromechanical engineering disciplines.
Keywords: automatic control principle; electromechanical systems; parallel theory and simulation; positive dual-circulation

引言

在智能制造、机器人、新能源装备等机电装备高速迭代的背景下，机电系统正朝着高精度、高集成、智能化与网络化方向快速发展，控制系统作为智能装备的“大脑”，其分析、设计与调试能力已成为机电类专业人才核心竞争力。自动控制原理作为机电类专业的核心课程，具有理论抽象、数学逻辑性强、知识覆盖面广、工程应用紧密等特点，是连接基础理论与工程实践的关键纽带。但当前课程教学普遍存在教学内容繁杂、知识点分散、理论与工程结合不紧密等问题，进而导致学生知识体系碎片化、模块间关联性不足、学习过程被动化、案例应用套路化、工程获得感不强，难以满足新时代机电行业对控制系统应用型、创新型人才的需求。

近年来，国内外高校围绕自动控制原理类课程开展了大量教学改革与实践探索。国外高校广泛采用项目式、模块化等教学模式，融

项目信息：北京石油化工学院研究生优质课程建设项目（机电系统自动控制原理 MECH535、焊接冶金学 MECH504）。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

合 MATLAB、LabVIEW 等仿真工具，注重以真实工程问题驱动理论学习，强调系统思维与工程能力的培养[1-3]。国内研究则聚焦于线上线下混合式教学、理实一体化教学、虚拟仿真实验、课程思政与过程性考核等方向，在优化教学内容、创新教学方法、完善实践条件等方面取得了丰富成果[4-10]。但总体来看，现有改革仍存在理论学习与仿真实践不同步、知识传授与能力培养脱节、教学过程缺乏闭环迭代机制不足等问题。

本文立足机电系统应用场景，提出基于“理论与仿真并行，学用相融迭代共进”正向双循环的课程教学改革思路。以正向双循环为核心运行机制，将理论教学与仿真验证同步推进、知识学习与工程应用深度融合、教学过程与能力提升迭代优化，从教学内容重构、教学方法创新、教学手段升级等方面实施系统性改革。

一、“理论与仿真并行，学用相融迭代共进”正向双循环的课程教学改革途径

课程围绕教学内容、教学方法与手段进行系统化重构，形成“理论筑基—仿真验证—工程应用—反馈迭代”的闭环教学机制。

（一）锚定课程“一条主线” 项目，实现知识点模块化整合与能力“闭环”构建

以机电耦合典型代表电机为主线项目，重构模块化教学内容，构建能力体系，实现理论与实践的闭环，如图1所示。

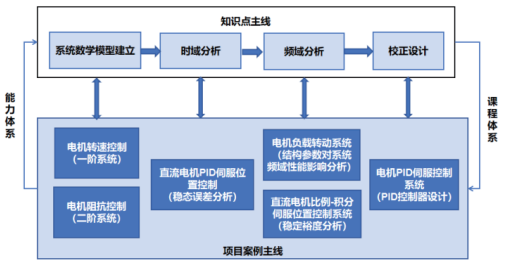


图1 “一条主线” 项目

整个课程以电机的控制为主线，涵盖数学建模、时域分析、频域分析及校正设计等核心知识点。建立电机转速控制的一阶数学模型和阻抗控制的二阶模型，掌握物理模型与经典一阶和二阶系统的映射关系；通过直流电机 PID 伺服位置控制分析系统时域响应和稳态误差，学生可直观地观察到 PID 参数变化对时域响应的影响，并学会如何根据控制精度要求调整控制器参数；通过改变电机输出轴转动惯量等物理参数分析结构参数对系统频域性能的影响，让学生在掌握一阶、二阶系统频率特性的基础上，通过对比分析更深入了解影响系统频域特性的因素；基于直流电机比例－积分伺服位置控制系统模型，学生不仅可以通过频域响应分析巩固稳定裕度这个知识点，还进一步观察比例－积分－微分参数对系统稳定裕度的影响；最后通过电机的 PID 伺服控制系统设计融会前面的时域分析、频域分析核心知识，根据要求的时域和频域性能指标设计合理的控制器参数，实现学生知识、能力的动态螺旋提升。

通过“一条主线”的设计，构建了电机控制项目“对象—模型—分析—校正—设计”一体化案例链，将课程知识点的模块化划分与主线项目的有机融合，有效解决知识碎片化问题。

（二）推行理论与仿真并行，实现学用相融迭代共进与教学效率提升

机电系统自动控制原理课程内容繁杂，涉及较多数学运算和数学方法，过于理论与抽象，学生的理解往往停留在表面，引入 MATLAB/Simulink 模块及 QUBE 实验系统，仿真操作能强化学生对知识的理解，如图2所示。

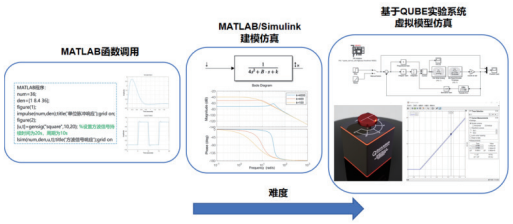


图2 仿真内容和方法的逐层递进

每个知识点模块通过教师精讲核心概念与方法，同步开展 MATLAB/Simulink 仿真演示，通过响应对比、图形可视化，将抽象理论转化为直观曲线。学生在仿真中观察参数变化对系统性能的影响，主动发现问题、提出疑问，教师针对性点拨解惑，完成理论知识的内化与深化。核心知识点模块在前述仿真分析基础上，基于 QUBE 实验系统，以小型工程项目为驱动，学生分组完成建模、控制器设计、仿真调试与性能优化。通过“仿真—调试—再仿真—再优化”的迭代过程，将理论方法转化为工程能力。

（三）构建数学建模和物理回溯闭环，实现理论知识与工程应用深度融合

针对机电系统自动控制原理课程中，学生常出现理论与实际脱节、难以将数学模型与物理对象对应的问题，设计“从物理建模到数学建模、再由数学分析回溯物理本质”的教学闭环，实现理论知识与工程应用的深度融合，如图3所示。

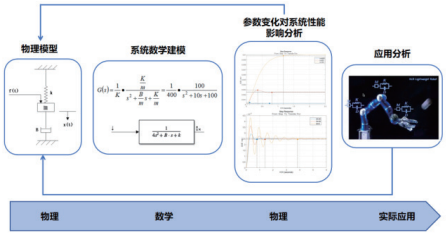


图3建立数学模型和回溯物理本质的教学闭环

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

传统教学中，系统数学模型建立后，分析过程多依赖纯数学推导，导致学生只掌握形式化运算，却不理解传递函数与真实物理对象的内在联系。为此，本课程采用双向映射式教学模式。建模阶段，从实际机电系统出发，逐步抽象、推导对应的数学模型，明确物理意义到数学表达的对应关系；分析阶段，反向将数学结论、仿真曲线与系统类型、结构及参数关联，通过参数调整直观观察其对动态性能、稳态性能的影响，再延伸到工程场景中的系统设计与调试。

通过物理—数学—物理的闭环教学，使学生既能掌握自动控制原理的理论体系，又能建立理论知识与实际机电系统的直观联系，从根本上解决理论学习与工程应用脱节的问题。

二、结语

本文针对机电系统自动控制原理课程知识碎片化、学习被动、案例固化等问题，构建“理论与仿真并行，学用相融迭代共进”正向双循环教学模式。依托主线项目整合模块化教学内容，采用双循环教学方法，有效提升了知识系统性、学生课堂参与度与工程获得感，强化了学生控制理论基础与系统分析设计能力。

改革实践表明，该模式促进理实融合，兼顾知识传授与能力培育，契合新工科行业发展需求，具有较强的实用性与推广价值。后续可结合数字孪生、人工智能、产教融合优化正向双循环教学机制，丰富工程实践教学资源，提升课程高阶性、创新性与挑战度，助力机电创新工程人才培养。

参考文献

[1]John Anthony Rossiter. Future Trends for a First Course in Control Engineering[J]. Frontiers in Control Engineering, 2022, 3(7): 1-5.

[2]Ravindra Munje, Pankaj Beldar, Ajinkya Joshi, Priya Rakibe. Analogical Pedagogy for Control Systems: A Case Study on Controllability and Observability[J]. Journal of Engineering Education Transformations, 2026, 39(S2): 232-238.

[3]Hamza El-Kebir, Melkior Ornik, Joseph Bentsman. Empowering Control Engineering Students Through Theory, Implementation, and AI-Assisted Learning:Evaluating a Project-Based Advanced Computer Control Course[J]. IFAC-PapersOnLine,2025,59(7):183 - 188.

[4] 张凤 . 基于能力导向的自动控制原理教学改革策略 [J]. 模具制造 ,2026,26(02):141-143.

[5] 张礼慧 , 孙克伟 , 鞠晓凤 . 数智赋能驱动自动控制原理课程内涵式教学改革 [J]. 中国现代教育装备 ,2025,(23):115-118.

[6] 郑玲玲 , 姚莹 , 周迎春 , 等 ." 双线并进、五步混合、四域联动 " 课程思政设计——基于 " 自动控制原理 " 课程教学的探索与实践 [J]. 教育教学论坛 ,2025,(48):116-120.

[7] 范莎 , 杨杨 , 任玲 . 基于 " 项目驱动—案例贯穿 " 的 " 自动控制原理 " 教学模式探索与实践 [J]. 沈阳师范大学学报 (自然科学版),2025,43(05):433-438.

[8] 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 ,2025,47(04):13-16.

[9] 曹喜果 , 张永涛 , 张慧娥 , 等 . " 自动控制原理 " 课程教学改革与实践 [J]. 电气电子教学学报 , 2024, 46(1): 72-75.

[10] 申富媛 , 李炜 , 刘微容 , 等 . " 自动控制原理 " 课程目标达成度统计分析与持续改进 [J]. 电气技术 , 2023, 24(1): 65-69.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.