

新工科背景下机器人典型控制对象牵引的 《控制工程基础》课程教学改革与实践

胡 峰

长江师范学院机器人工程学院, 重庆

收稿日期: 2026年7月20日; 录用日期: 2026年8月21日; 发布日期: 2026年8月31日

摘 要

《控制工程基础》是机器人工程专业连接数学基础、控制理论和机器人专业课程的重要桥梁课程, 对学生系统建模、控制分析和工程实践能力培养具有基础性支撑作用。新工科建设强调工程教育应主动适应新产业、新技术和新经济发展需求, 成果导向教育(Outcome-Based Education, OBE)理念要求以学习成果为导向反向设计课程目标、教学活动与评价方式, 相关研究进一步阐释了成果导向教育的实施逻辑。针对传统教学中理论内容抽象、机器人专业特色融入不足、实践层次偏浅、评价方式偏重知识考核等问题, 本文在已有控制类课程教学改革研究基础上, 提出以机器人典型控制对象牵引的《控制工程基础》课程改革模式, 形成“对象贯穿、任务驱动、实践递进、评价闭环”的教学改革框架。该模式将机器人关节伺服系统、移动机器人速度控制系统和航向控制系统等典型对象融入系统建模、时域分析、稳定性分析、频域分析和控制器设计等模块, 围绕建模、分析、设计及验证组织递进式实践任务, 并通过多元评价促进课程目标达成。教学实践表明, 该改革有助于提升学生系统建模、控制分析、控制器设计和工程验证能力, 为机器人工程专业控制类基础课程改革提供了可借鉴路径。

关键词

控制工程基础, 机器人工程, 新工科, 机器人典型控制对象, 教学改革, 成果导向教育

Teaching Reform and Practice of Fundamentals of Control Engineering Driven by Typical Robot Control Objects against the Background of Emerging Engineering Education

Feng Hu

Abstract

Fundamentals of Control Engineering serves as a pivotal bridge connecting mathematical foundations, control theory, and specialized robotics courses within the Robotics Engineering curriculum. It provides essential support for developing students' competencies in system modeling, control analysis, and engineering practice. China's New Engineering Education initiative calls for engineering education to respond proactively to the evolving demands of emerging industries, technologies, and economic paradigms. Meanwhile, Outcome-Based Education (OBE) advocates the backward design of course objectives, teaching and learning activities, and assessment methods based on intended learning outcomes, with subsequent studies further clarifying its underlying implementation logic. To address persistent limitations in conventional instruction—including the abstract presentation of theoretical concepts, insufficient integration of robotics-specific applications, limited depth of practical activities, and an overemphasis on knowledge-based assessment—this study proposes a reform model for Fundamentals of Control Engineering organized around representative robotic control systems. Building on existing research into the reform of control-related courses, the proposed model establishes a framework characterized by “system-centered continuity, task-driven learning, progressively structured practice, and closed-loop assessment.” Representative systems, including robotic joint servo systems, mobile-robot velocity control systems, and heading control systems, are incorporated throughout the modules on system modeling, time-domain analysis, stability analysis, frequency-domain analysis, and controller design. Progressive practical tasks are structured around modeling, analysis, design, and validation, while multidimensional assessment is employed to facilitate the attainment of course learning outcomes. Evidence from classroom implementation indicates that the proposed reform enhances students' abilities in system modeling, control analysis, controller design, and engineering validation, thereby providing a transferable approach to reforming foundational control courses in Robotics Engineering programs.

Keywords

Fundamentals of Control Engineering, Robotics Engineering, Emerging Engineering Education, Typical Robot Control Objects, Teaching Reform, Outcome-Based Education (OBE)

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在新一轮科技革命和产业变革背景下，机器人技术、人工智能与智能制造快速发展，工程系统呈现出高度复杂化、智能化和跨学科集成化特征。新工科建设强调工程教育应主动适应新产业、新技术和新经济发展需求，推动人才培养模式、课程体系和教学方法改革[1][2]。对于应用型和交叉型工程专业而言，课程教学不能停留在知识点讲授层面，而应围绕产业真实问题重构教学内容，强化学生工程实践能力、系统思维能力和持续学习能力培养。

机器人工程专业是新工科背景下具有代表性的交叉融合专业，涉及机械设计、控制科学、计算机技

术、传感检测和人工智能等多学科知识。机器人系统通常具有多变量、强耦合、非线性和实时控制等特点,要求学生不仅掌握控制理论的基本概念和分析方法,还能够面向具体工程对象完成模型建立、性能分析、控制器设计和仿真验证。因此,如何在专业基础课程中突出机器人系统的工程属性,是机器人工程专业课程改革需要回应的重要问题。

《控制工程基础》是连接高等数学、工程数学、自动控制理论、机器人控制、运动控制和智能控制等课程的重要桥梁。该课程涉及传递函数、方框图、时域响应、稳定性分析、频域分析和控制系统校正等核心内容,是学生理解机器人控制系统动态行为和工程设计方法的基础。若课程教学仍主要按照经典控制理论章节顺序展开,学生容易将课程理解为公式推导和习题训练,难以形成面向机器人系统的控制工程认知。

已有研究围绕《控制工程基础》或控制工程类课程教学改革开展了多方面探索,主要集中在工程案例引入[3]、项目驱动教学[4]、创新创业融合[5]、多学科交叉教学[6]、信息化教学和实验教学改革[7]等方面。成果导向教育(Outcome-Based Education, OBE)、建构性对齐、构思-设计-实现-运行(Conceive-Design-Implement-Operate, CDIO)和项目式学习等理念也被广泛用于工程类课程改革,分别从成果导向、目标活动评价一致性[8]、工程系统全生命周期[9]和真实任务驱动[10]等维度,为课程重构提供了理论基础。这些研究为提升控制类课程教学质量提供了有益经验,但在机器人工程专业语境下,如何以机器人典型控制对象重构《控制工程基础》的知识组织逻辑,如何将系统建模、性能分析、控制设计及仿真验证形成贯穿式教学链条,仍有进一步研究空间。

基于上述分析,本文提出以机器人典型控制对象为牵引的《控制工程基础》课程教学改革模式。与传统按照经典控制理论章节顺序组织教学的方式不同,本文将机器人关节伺服系统、移动机器人速度控制系统和航向控制系统等典型对象嵌入课程核心知识模块,构建工程对象、理论方法、控制任务及能力达成的课程内容组织路径。本文的主要工作包括:一是基于新工科与 OBE 理念重构课程目标和能力结构;二是以机器人典型控制对象为主线重组教学内容;三是围绕建模、分析、设计及验证构建递进式实践教学体系;四是建立过程性评价与终结性评价相结合的多元评价机制,实现课程教学、实践训练和能力评价的闭环。

2. 《控制工程基础》课程教学现状与问题分析

已有控制类课程改革研究表明,工程案例、项目任务、实验平台和信息化资源能够在一定程度上改善理论教学抽象、学生参与不足和实践能力培养薄弱等问题。但从机器人工程专业人才培养需求看,相关改革仍需要进一步强化机器人典型控制对象的贯穿作用,使课程知识链、工程任务链和能力达成链之间形成更紧密的对应关系。结合课程教学实践,现有问题主要体现在以下四个方面。

第一,理论知识抽象,工程对象支撑不足。课程内容通常以拉普拉斯变换、传递函数、稳定性判据、根轨迹和频域分析等知识点为主线,强调数学推导和计算方法。学生能够完成部分公式运算,但对模型参数、动态响应和控制指标背后的工程含义理解不足,难以将抽象理论迁移到机器人关节伺服或移动机器人运动控制等真实对象。

第二,教学案例泛化,机器人专业特色不鲜明。传统教学常使用电机、机械系统或一般二阶系统案例解释控制理论,这些案例虽有助于基础概念讲解,但与机器人工程专业学生熟悉的关节控制、速度控制、航向控制等对象联系不够紧密。案例若仅作为章节补充,难以形成贯穿课程的专业认知。

第三,实践教学偏验证,综合设计能力培养不足。受课时、设备和课程组织方式影响,实践教学多以验证性仿真或单一参数调整为主,学生通常按照步骤完成实验,缺少从工程需求出发进行建模、分析、控制设计和验证的完整训练,综合设计能力和工程表达能力支撑不足。

第四，评价方式偏结果，能力达成评价不充分。传统评价较多依赖期末考试，对理论知识和计算能力考查较充分，但对系统建模、参数分析、控制器设计、仿真验证、团队协作和工程表达等能力关注不足。评价数据也较少用于课程目标达成分析和持续改进，难以体现 OBE 理念所强调的闭环改进要求[11]。

3. 基于文献启示的课程改革理念与创新框架

OBE 理念强调以学生最终学习成果为导向，反向设计课程目标、教学活动和评价方式。对于《控制工程基础》而言，课程目标不应仅表述为掌握控制理论基本知识，还应具体落实为能够建立机器人控制对象模型、分析系统动态性能、完成控制器设计并进行仿真验证等能力目标。

建构性对齐理论强调学习目标、教学活动和考核评价之间的一致性。据此，课程改革需要将课堂讲授、案例分析、仿真实践、综合任务和评价标准统一到能力达成逻辑之中，使学生在每一类学习活动中都能够明确其对应的控制工程能力。

CDIO 工程教育理念强调在工程系统全生命周期中培养学生构思、设计、实现和运行能力。这一理念启示控制类课程应从单纯知识讲授转向工程流程训练，将系统建模、控制分析、方案设计和运行验证纳入同一教学链条。项目式学习和机器人控制教学研究也表明，以机器人任务为载体能够帮助学生在真实任务情境中理解控制理论的工程意义。

基于上述理论和研究基础，本文提出对象贯穿、任务驱动、实践递进及评价闭环的课程改革框架。其核心不是简单增加机器人案例，而是以机器人典型控制对象重构《控制工程基础》的知识组织逻辑；不是单一教学方法改革，而是将课程目标、教学内容、实践任务和评价机制整合为闭环系统。课程改革总体框架如图 1 所示。

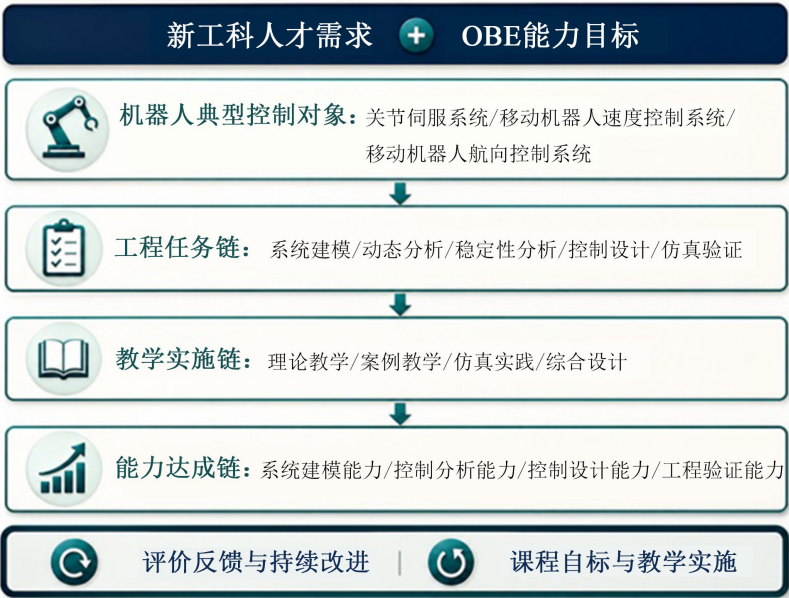


Figure 1. Course teaching reform framework driven by typical robot control objects
图 1. 机器人典型控制对象贯穿式课程教学改革框架

4. 《控制工程基础》课程教学改革实施路径

围绕机器人工程专业人才培养目标和新工科建设要求，课程改革以机器人典型控制对象为主线，从课程内容重构、课堂组织优化、实践体系建设和评价机制改革四个方面协同推进。

4.1. 基于机器人典型对象的课程内容重构

已有控制类课程改革研究强调通过工程案例增强学生对抽象理论的理解，机器人控制教学研究也表明，将机器人系统作为项目载体有助于学生在真实任务情境中理解控制理论的工程意义。因此，本文不再将机器人案例作为零散补充，而是将机器人典型控制对象作为课程内容重构的主线。

课程选取机器人关节伺服系统、移动机器人速度控制系统和移动机器人航向控制系统作为贯穿对象，将其分别嵌入传递函数建模、时域响应分析、稳定性分析、频域分析和控制器设计等教学模块。学生在学习每一类理论方法时，都围绕同一类工程对象理解其物理含义、性能约束和设计用途，从而形成由对象牵引的知识组织逻辑。机器人典型控制对象与课程知识模块的映射关系如图 2 所示，突出机器人对象作为课程知识组织主线的作用。

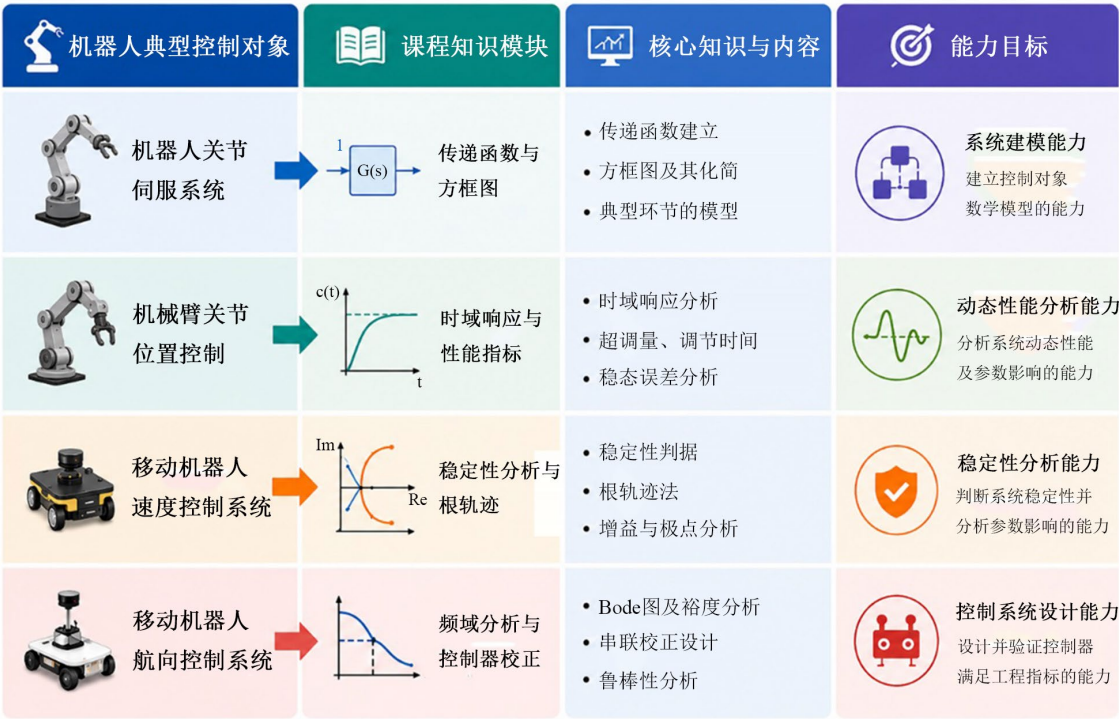


Figure 2. Mapping between typical robot control objects and course knowledge modules
图 2. 机器人典型控制对象与课程知识模块映射关系

4.2. 基于工程任务链的课堂教学组织优化

项目驱动和工程任务导向教学强调学生在问题分析、方案比较和任务完成过程中建构知识。据此，课堂教学由“教师讲授知识点”转向“围绕机器人控制任务组织知识点”，在每个模块设置明确的工程问题，如关节位置控制如何满足调节时间要求、速度闭环增益变化如何影响稳定裕度、航向控制系统如何兼顾响应速度与鲁棒性等。

在课堂组织中，教师减少面面俱到的推导式讲授，重点解释关键概念、典型模型和参数变化对系统性能的影响。学生通过小组讨论、参数计算、仿真结果解释和控制方案比较，逐步形成从工程需求出发选择控制分析方法的思维方式。课堂教学由知识呈现转向任务分析，有助于提升学生主动学习和工程表达能力。

4.3. 基于建模、分析、设计及验证的递进式实践体系建设

虚拟仿真和控制类实验教学研究表明，仿真资源能够降低工程系统实践门槛，项目化实践任务有助于培养学生综合应用能力。本文构建的实践体系不是简单验证实验，而是围绕建模、分析、设计及验证形成递进式任务链，使实践教学与理论模块同步推进。

实践任务从基础验证逐步过渡到对象建模、控制设计和综合任务。基础层面通过二阶系统仿真帮助学生理解性能指标；对象建模层面围绕机器人关节伺服系统建立传递函数模型；控制设计层面要求学生完成移动机器人速度控制器参数整定；综合层面围绕航向控制任务完成建模、分析、设计、仿真和报告撰写。“建模 - 分析 - 设计 - 验证”递进式实践教学任务链如图 3 所示。



Figure 3. Progressive practical teaching task chain of “Modeling - Analysis - Design - Verification”
图 3. “建模 - 分析 - 设计 - 验证”递进式实践教学任务链

4.4. 基于能力达成的多元评价机制改革

OBE 和建构性对齐均强调评价应与课程目标和学习活动保持一致。工程教育认证也要求通过合理评价证据分析学生毕业要求和课程目标达成情况，并将评价结果用于持续改进[12]。因此，课程评价不再只关注期末考试成绩，而是面向系统建模能力、控制分析能力、控制设计能力和工程验证能力进行多维评价。

课程评价采用过程性评价与终结性评价相结合的方式。过程性评价关注课堂参与、建模作业、仿真实验和综合课程任务，终结性评价保留必要的理论知识考查，并适当增加工程分析和设计类题目。通过多源评价数据，可以较为全面地反映学生在知识理解、工程建模、参数分析、控制器设计、仿真验证和工程表达方面的达成情况。

5. 教学实践成效分析

教学实践成效分析应建立在课程目标达成、过程评价和持续改进的基础上。在尚未形成长期量化跟踪数据的情况下，本文主要依据课堂观察、实验报告、综合任务完成情况和学生反馈进行分析，避免使

用缺少数据支撑的绝对化结论。

5.1. 学生工程认知与学习主动性提升

从课堂观察和讨论情况看,以机器人关节伺服、移动机器人速度控制和航向控制等对象组织教学后,学生更容易将传递函数、稳定性、频域特性和控制器设计等抽象概念与具体工程任务联系起来。机器人对象的持续贯穿使学生能够在不同章节中反复回到同一类系统问题,逐步理解控制理论在机器人系统中的工程意义,在一定程度上改善了课程学习中“只会计算、不懂应用”的现象。

5.2. 系统建模与控制设计能力提升

从仿真实验和综合任务完成情况看,学生能够在教师指导下完成从模型建立、响应分析、参数整定到仿真验证的较完整过程。与单一验证性实验相比,递进式任务链要求学生解释参数变化对系统性能的影响,并根据控制目标调整设计方案,有助于培养其系统建模、控制分析和控制器设计能力。

5.3. 课程评价与持续改进机制初步形成

通过课堂讨论、平时作业、仿真实验、综合任务和期末考试等多源数据,课程初步形成了面向能力达成的评价证据链。教师可以依据不同评价项目分析学生在系统建模、性能分析、控制设计和工程验证方面的薄弱环节,并将分析结果反馈到下一轮教学内容组织、实践任务设置和评价标准修订中,从而推动课程持续改进。

6. 结论

本文面向新工科背景下机器人工程专业人才培养需求,在吸收 OBE、CDIO、建构性对齐和项目式教学等相关研究成果的基础上,提出了以机器人典型控制对象为牵引的《控制工程基础》课程教学改革模式。该模式通过对象贯穿、任务驱动、实践递进及评价闭环的教学组织方式,将控制理论知识融入机器人系统建模、性能分析、控制器设计和仿真验证全过程,推动课程教学由知识讲授型向能力培养型转变。教学实践表明,该改革有助于增强学生对控制理论工程意义的理解,提升其系统建模、控制分析、控制设计和实践验证能力。后续将进一步结合机器人实验平台、虚拟仿真资源和课程目标达成评价数据,持续完善教学资源建设和教学质量改进机制。

基金项目

长江师范学院 2026 年度课程思政示范课程建设项目“控制工程基础”、2026 年度项目式课程建设项目“控制工程基础”及 2026 年本科实验教学项目“控制工程基础综合实验”(PX-1926853)。

参考文献

- [1] Spady, W.G. (1994) Outcome-Based Education: Critical Issues and Answers. American Association of School Administrators.
- [2] Rao, N.J. (2020) Outcome-Based Education: An Outline. *Higher Education for the Future*, 7, 5-21. <https://doi.org/10.1177/2347631119886418>
- [3] 胡标, 谭戡, 陈建. 基于二阶平衡车实例的《控制工程基础》教学方案探讨[J]. 中国设备工程, 2024(16): 249-251.
- [4] 石宝玉, 王永宽, 罗仲龙, 杨璐. 控制工程基础课程教学改革的实践探索[J]. 安徽工业大学学报(社会科学版), 2025, 42(6): 102-103.
- [5] 田晓超, 刘金龙, 侯俊, 李沈芳, 于淼. “创新创业”背景下控制工程基础课程改革探索与实践研究[J]. 现代职业教育, 2022(10): 31-33.
- [6] 生龙, 冯文豪, 闫景富, 等. 控制工程多学科交叉复合教学及信息化研究[J]. 高教学刊, 2024, 10(8): 137-140.

-
- [7] 李小鹏, 苗志怀, 王彬彬, 李洪泉. “新工科”背景下机电系统控制实验课程改革与实践[J]. 实验科学与技术, 2024, 22(4): 47-53.
- [8] Biggs, J. (1996) Enhancing Teaching through Constructive Alignment. *Higher Education*, **32**, 347-364.
<https://doi.org/10.1007/bf00138871>
- [9] Crawley, E.F., Malmqvist, J., Östlund, S. and Brodeur, D.R. (2007) Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-38290-6>
- [10] Farzan, S. (2023) Project-Based Learning for Robot Control Theory: A Robot Operating System (ROS)-Based Approach. 2023 *ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, Baltimore, 25-28 June 2023, 1-24.
<https://doi.org/10.18260/1-2--43968>
- [11] 蔡述庭, 李卫军, 章云. 工程教育认证中毕业要求达成度的三维度评价实践[J]. 高等工程教育研究, 2018(2): 71-76.
- [12] 李志义, 赵卫兵. 我国工程教育认证的最新进展[J]. 高等工程教育研究, 2021(5): 39-43.