

从控制论到“黑灯工厂”：“双轮驱动”式多元知识体系构建与教学研究

马国欣, 刘殿通

烟台大学 计算机与控制工程学院, 山东 烟台 264005

DOI: 10.61369/ETR.2026180029

摘 要 : 新工科与智能制造深度融合背景下, 控制类课程理论抽象、数学性强, 课程间壁垒明显, 学生系统构建能力与复杂工程问题解决能力略显不足。本研究立足“以学生为中心、以工程为导向、以能力为本位”的教育理念, 提出“案例贯通式”教学改革路径。通过纵向贯通设计覆盖“基础理论—专业主干—综合实践”的递进式工程案例链, 横向联结设计覆盖“知识锚点—工程模块—体系集成”的模块化案例群, 构建“双轮驱动”案例教学框架; 依托“工程师视角解构、学生视角构建”的双重视角转换机制, 引导学生面向“黑灯工厂”等真实复杂场景, 主动拆解工程问题、逆向重构理论知识网络; 通过“案例—理论—实践”多元融合, 实现从抽象控制理论到落地工程应用的完整认知闭环, 有效提升学生系统思维、工程实践与创新能力, 不断培养学生的系统思维与复杂工程问题解决能力。

关 键 词 : 双轮驱动; 案例贯通; 双重视角; 多元融合; 系统构建能力; 工程教育

From Cybernetics to "Dark Factory": Construction and Teaching Research of A "Two-wheel Drive" Diversified Knowledge System

Ma Guoxin, Liu Diantong

Yantai University, School of Computer and Control Engineering, Yantai, Shandong 264005

Abstract : In the context of the deep integration of new engineering and intelligent manufacturing, control courses are characterized by theoretical abstraction and strong mathematical nature, with evident barriers between courses. Students' abilities in system construction and solving complex engineering problems are slightly lacking. Based on the educational philosophy of "student-centered, engineering-oriented, and competency-based", this study proposes a "case-based" teaching reform path. By designing a longitudinally integrated progressive engineering case chain covering "basic theory – major backbone – comprehensive practice" and a horizontally connected modular case group covering "knowledge anchor – engineering module – system integration", a "dual-driven" case teaching framework is constructed. Relying on the dual-perspective transformation mechanism of "deconstructing from the engineer's perspective and constructing from the student's perspective", students are guided to face real complex scenarios such as "dark factories" and actively disassemble engineering problems and reconstruct theoretical knowledge networks in reverse. Through the multi-dimensional integration of "case – theory – practice", a complete cognitive loop from abstract control theory to practical engineering applications is realized, effectively enhancing students' abilities in systematic thinking, engineering practice, and innovation, and continuously cultivating their abilities in systematic thinking and solving complex engineering problems.

Keywords : dual-wheel drive; case-based integration; dual perspective; multi-faceted integration; system construction capability; engineering education

工程案例教学法源于哈佛商学院, 因其能有效打破理论教学的枯燥性, 以问题驱动、情境沉浸、高阶思维训练为核心特征, 能够有效打破理论教学的枯燥性与封闭性, 激发学生高阶认知, 已成为全球工程教育领域提升人才培养质量的主流方法^[1]。我国自20世纪90年代引入后, 相关研究方兴未艾。当前研究主要集中在两个层面: 一是教学模式层面, 聚焦案例式、项目式、PBL、课目式等以学生为中心的教学方法对比与设计, 肯定了其在提升课堂参与度、强化实践能力方面的显著价值[2-3]; 二是学科应用层面, 在控制工程、智能制造、机器人技术、程序设计等课程中开展单点式、单课程案例实践, 取得阶段性成效, 展开了丰富的案例教学实践[4-8]。

项目基金: 烟台大学教改项目“从控制论到“黑灯工厂”——学生视角下控制领域多元知识体系构建教学研究与实践”(项目编号: JYXM2023046)的阶段性研究成果。

多数案例设计局限于单一课程或孤立知识点，缺乏对控制领域课程群整体知识脉络的系统性贯通；案例呈现碎片化、静态化，难以支撑学生构建层次清晰、关联紧密、可迁移应用的多元知识体系。面向“工业4.0”与“黑灯工厂”对自动化人才的新要求，如何设计能够纵向贯通多门课程核心理论、横向整合课程内离散知识点的系列化、结构化案例，从而帮助学生主动构建层次分明、联系紧密的“多元知识体系”，解决“会计算、不会设计，懂原理、不懂系统”的问题，仍是控制领域工程教学改革的核心难题与前沿方向。

一、“工业4.0”与“黑灯工厂”的兴起对自动化教学的新挑战

“工业4.0”以自动化、数字化、网络化、智能化为核心特征，推动制造业向全流程无人化、全要素集成化、全系统自适应转型。随着人工智能、物联网、大数据等技术的成熟，各类“黑灯工厂”的持续落地，全面自动化业已成为制造业转型升级的必然方向，成为“工业4.0”浪潮中的核心驱动力。

“黑灯工厂”作为智能制造的典型形态，集成工业机器人、机器视觉、PLC、运动控制、过程控制、数字孪生、物联网与大数据等技术，实现生产全程少人化、无人化与高效稳定运行，是控制论从经典理论走向工程落地的集中体现[9-10]。这一变革对自动化人才提出更高能力要求：控制理论贯通能力、跨课程知识整合能力、系统建模与调试能力、复杂工程问题解决能力、智能技术融合应用能力。

而传统控制类课程内容抽象、数学性强，传统“知识传承”型课堂易导致学生“只见树木，不见森林”，理论与实践链条契合度有待加强。特别是随着当前人工智能技术在工程实践过程中的深耕落地，如何融通人工智能、控制论方法、实践问题背景成为自动化领域的教学挑战之一，具体包括：

（1）如何化解理论抽象性与认知直观性之间的矛盾？即如何通过案例将拉普拉斯变换、李雅普诺夫稳定性等抽象理论、抽象概念，转化为学生可感知、可操作的工程问题。

（2）如何打破课程壁垒与知识碎片化困境？即如何通过案例设计，让学生自发地发现系列课程间的内在逻辑与嵌套过程，形成整体知识观。

二、“双轮驱动－双重视角－多元融合”教学体系构建

为积极应对散点理论知识到工程体系集成的核心矛盾，就要超越单一案例的建设与应用，从集成级知识体系建构论的视角，探索通过结构化案例群驱动学生进行认知重组的内在机制。其实践意义在于，为破解控制类课程教学“抽象、孤立、难应用”的困境，提供一套可操作的“案例贯通式”教学方案，为同类工科专业教学改革提供参照，服务于当前智能制造战略对创新型、复合型工科人才的迫切需求。

（1）“双轮驱动”案例体系设计：纵向贯通＋横向联结

一是构建纵向贯通型案例（跨课程递进）：沿“基础课—专业主干课—综合实践课”递进设计，实现理论由浅入深、能力逐级提升。典型链条：“数学建模→自动控制原理→运动控制/过

程控制→智能车竞赛/机器人控制/黑灯工厂仿真”，贯穿大学阶段核心课程，让学生清晰把握控制理论从建模、分析到工程实现的完整路径。

二是构建横向联结型案例（同课程模块化）：针对同类课程内关联章节，设计模块化子案例，驱动学生像“装配零件”一样组合、剖析，理解知识点间的网络化联系，引导学生像装配系统一样完成知识整合。典型案例：围绕具身机器人/机械臂控制，构建：“电路设计→单片机程序实现/嵌入式设计→传感器选型与信号处理→传动机构建模与控制→智能感知与控制→系统集成与调试”，强化知识点间的网络化关联。

以“一条主线贯通、多向模块并联”为原则，构建结构化案例群，形成案例教学“双轮”，体系设计示意图如图1所示。



图1 “双轮驱动案例”体系构建示意图

（2）“双重视角”教学方法创新：解构＋构建

基于上述案例，设计“工程师视角解构”与“学生视角构建”相结合的教学流程。

工程师视角：自上而下解构，引导学生将“黑灯工厂、智能产线、机械臂工作站”等宏观场景，逐层分解为子系统—功能模块—可控子问题，明确硬件、软件、控制算法、通信交互的硬相关关系，建立工程系统思维。

学生视角：自下而上建构：以子问题为导向，定位所需理论“零件”与知识“锚点”，将分散的公式、原理、方法逆向组合为结构化、网络化、可应用的完整知识体系，实现“用中学、建中悟”，鼓励学生将解决子问题所需的理论“零件”逆向重构成完整的知识体系，将硬相关的工程模块涉及的知识“锚点”连接至完整的知识体系当中，如图2所示。

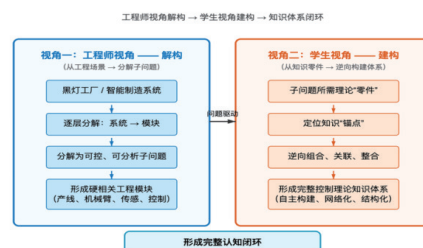


图2 “双重视角”教学方法示意图

(3) “多元融合”实践教学体系框架设计：案例—理论—实践双向映射

将案例体系与传统教学内容进行深度融合，将案例体系联动的理论知识点重新载入到传统教学内容中，将理论教学内容映射至案例体系的模块中去，逐步形成“多元融合”的实践教学体系框架。

把黑灯工厂机械臂位姿控制、产线伺服控制、流程工业参数优化等工程案例，载入经典控制理论中的静态误差、动态误差、稳定性分析、系统校正等核心知识点，让理论落地；把控制理论知识点映射到 MATLAB/Simulink 仿真、物理实验平台、智能制造学科竞赛、企业真实项目中，映射到“智能制造”学科竞赛教学实践中，如图3所示。

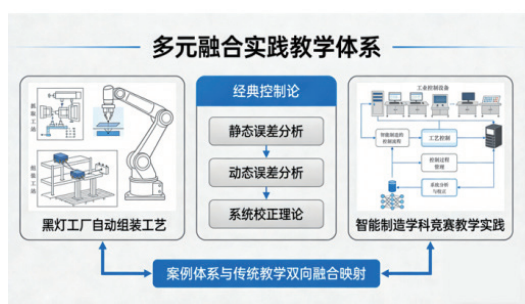


图3 “多元融合”实践教学体系示意图

三、“双轮驱动—双重视角—多元融合”教学实践行动路径与实施策略

1. 改革方案设计

研究采用“设计—实践—评估—修正”的行动研究范式。

核心方案是创建“案例库—教学法—评估表”三位一体的改革工具包。案例库对应“双轮驱动”案例体系；教学法明确“双重视角”转换的具体课堂活动（如案例破拆工作坊、知识脉络图绘制）；评估表则通过学生知识图谱作品、解决复杂工程问题的表现等进行过程性与终结性评价。

2. 关键问题解决策略

(1) 针对理论抽象问题，采用“具身化—情境化”策略。利用 MATLAB/Simulink 仿真和微型物理实验平台（如倒立摆、智能小车），让抽象数学公式转化为可视的动态响应曲线和实物控制效果，使理论“看得见、摸得着、可调试”。

(2) 针对知识碎片问题，采用“锚点式—牵引式”策略。以“黑灯工厂”为宏观锚点，向下牵引出生产线控制（运动控制）、工艺参数优化（过程控制）、系统建模（自控原理）等一系列子问题，自然串联多门课程知识，使学生理解知识在解决真实问题中的有机协同，形成整体知识观。

3. 教学路径迭代

以能力达成度为导向，持续迭代案例内容、教学流程与评价方式，不断评估其对提升学生系统能力的实效。构建并验证一套以“结构化案例群”为媒介、以“双重视角转换”为方法、以“多元知识体系自主构建”为目标的控制类课程教学模式，实现从“教理论”向“教思维、教系统”的深入转变。

面对人工智能新未来，迎接自动化领域深刻变革与挑战，研究应主动将人工智能、大数据等前沿技术要素融入“双轮驱动”案例体系，持续迭代教学内容与方法，着力培养学生从系统层面驾驭复杂工程问题的核心素养。“双轮驱动”式多元知识体系理念与设计框架，亦可迁移至其他强调系统性与复杂性的工科专业的教学改革中，助力新工科人才培养质量的整体提升。

参考文献

- [1] 王青梅, 赵革. 国内外案例教学法研究综述 [J]. 宁波大学学报 (教育科学版), 2009, 31(3): 7-11.
- [2] 郭希维, 方丹, 翟优. 案例式与课目式教学法在专业教学中的应用研究 [J]. 教育现代化, 2019, 6(93): 149-150.
- [3] 罗家祥, 袁薇, 高红霞, 等. 新工科下自动化控制类课程的贯通型案例设计 [J]. 教育现代化, 2020, 7(14): 134-136.
- [4] 张敬奎, 张佳凯, 范毅, 等. 案例教学法在工科院校专业课程教学中的应用研究 [J]. 教育理论与实践, 2024, 44(36): 57-60.
- [5] 季晨, 张兵, 程广贵, 等. 新工科背景下案例式教学改革探讨——以控制工程基础课程为例 [J]. 科技视界, 2021(33): 51-52.
- [6] 刘春生, 张绍杰, 王晶. “最优控制理论”研究生课程教学的探索与实践 [J]. 电气电子教学学报, 2015, 37(03): 30-32.
- [7] 李公法, 江都, 云俊童, 等. 基于案例教学的测控专业实践教学改革 [J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(7): 131-138.
- [8] 万佑红, 樊春霞, 徐丰羽, 等. 控制科学与工程研究生《智能控制》课程的案例教学探索 [J]. 科技创新导报, 2020, 17(02): 187-188.
- [9] 胡艳, 郑研. 以智能制造赋能现代化产业体系建设——基于全国30个省（自治区、直辖市）的实证分析 [J]. 武汉科技大学学报 (社会科学版), 2025, 27(04): 23-38.
- [10] 顾颀. 技术融合与产业协同引领下一代数字基建升级 [J]. 自动化博览, 2025, 42(10): 3.