

专创融合导向下“控制原理与单片机应用”课程改革与实践——基于 MBD 与双轨控制模式

王树磊, 李凯强, 孙文, 武子乾
常州工学院汽车工程学院, 江苏 常州 213032
DOI: 10.61369/ETR.2026120037

摘 要 : 针对传统控制类课程“理论－工程脱节”，且与人工智能等先进控制技术割裂的问题，本文以常州工学院车辆工程专业《控制原理与单片机应用》课程为改革载体，构建了“三阶递进、双轨并行、MBD 贯通”的专创融合教学模式。课程以直流无刷电机转速控制为统一项目载体，通过“开环驱动→系统辨识→闭环控制”的递进式训练，系统化培养学生的工程实践能力。核心创新在于闭环阶段实施“传统 PID 与强化学习（RL）双轨控制器设计”，并依托 Model-Based Design（MBD）技术，打通算法仿真到单片机嵌入式代码生成与部署的全流程，使学生可以不局限于仿真，而是能在真实硬件上对比验证经典与智能控制器的性能差异。教学中有机融入系统工程思想与产业前沿，厚植工匠精神。实践表明，该模式有效激发了学生的创新潜能，学生项目完成度提升至98%，近三年指导学生获国家级竞赛奖项8项，成果入选中国汽车工程学会课程建设典型案例。本研究为破解工科基础课程教学痛点提供了经过实践检验的解决方案。

关 键 词 : 专创融合；控制原理；单片机；MBD；强化学习；课程改革；工程教育

Reform and Practice of the "Control Principles and Microcontroller Applications" Course Under the Guidance of Specialized-Innovation Integration: Based on MBD and Dual-Track Control Mode

Wang Shulei, Li Kaiqiang, Sun Wen, Wu Ziqian
School of Automotive Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, Jiangsu 213032

Abstract : Through surveys on the family and learning status of Tibetan students in the secondary vocational classes of S City Art and Preschool Teachers College, and the implementation of the SCL-90 Mental Health Self-Assessment Scale, it is found that the majority of the students are from rural areas, of Tibetan ethnicity, and come from multi-child families. In terms of mental health status, a relatively high proportion of students are in early warning or sub-healthy states and require psychological adjustment. To address this, a new model of "Cultural Infiltration · Aesthetic Education Empowerment — Progressive Growth — Dual-Wing Escort — Full-Staff Mentorship · Collaborative Education" is proposed to improve the effectiveness of mental health education for Tibetan secondary vocational students.

Keywords : specialized innovation and integration; control principle; singlechip; MBD; reinforcement learning; curriculum reform; engineering education

引言

随着汽车产业向“电动化、智能化、网联化”转型，高校需培养兼具经典控制理论、嵌入式实现与智能算法应用能力的复合型人才^[1]。但现行控制类课程体系存在明显不足：《自动控制原理》侧重理论仿真，学生缺乏算法转嵌入式代码的能力^[2]；《单片机技术及应用》局限于接口编程，未上升到控制系统架构层面，两门课程割裂导致学生知识碎片化。同时，人工智能教学多停留在离线仿真，学生难以将智能模型部署到嵌入式设备，存在学用脱节问题。为此，常州工学院课程团队整合两门课程，以大疆 M3508 电机转速控制为贯穿项目，采用基于模型设计（MBD）方法，引导学生完成全流程实践，弥合理论与实践鸿沟^[3-4]。本文阐述该教学模式的设计、实施与成效，为同类院校工科课程改革提供可复制范式。

项目基金：常州工学院课程建设项目（项目化），《控制原理与单片机应用》，项目编号：XMKC202501。
常州工学院产教融合示范课程，《汽车设计》，项目编号：CJRHKC2023-4。

一、改革理念与整体设计框架

（一）专创融合教育理念与课程定位

改革以“专创融合”为灵魂，将创新教育嵌入专业课程全过程。本课程定位为车辆工程专业核心课程，旨在通过解决“大疆 M3508 直流无刷电机转速控制”这一复杂工程问题，串联控制理论、嵌入式系统与智能算法等相关知识，培养学生解决复杂工程问题的综合能力与创新思维。

（二）“三阶递进、双轨并行、MBD 贯通”教学模式总体架构

本模式构建了一个三维立体化教学架构，其 X、Y 和 Z 轴分别代表实验内容、方法和工具。如图 1 中所示。

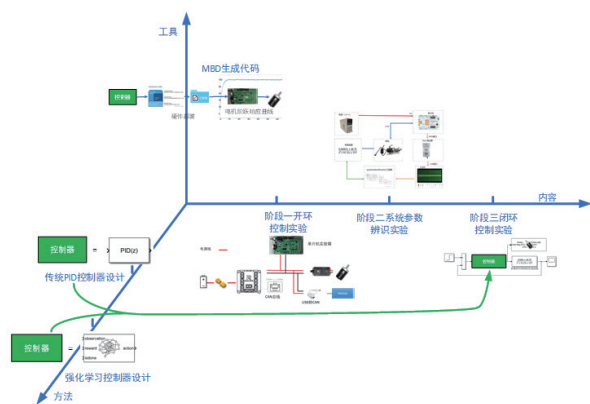


图1 三维立体化教学架构

在实验内容上体现三阶递进的设计思想：阶段一：开环驱动与系统认知（基础技能）；阶段二：系统辨识与建模（模型抽象）；阶段三：闭环控制与性能优化（综合创新）。

在实验方法上，使用“传统 PID+ 强化学习”两种方法双轨并行的设计电机的转速控制器，并进行对比分析。

在实验工具上，使用 MBD 工具将设计的控制器转换为嵌入式代码，实现从 Simulink 模型到嵌入式 C 代码的一键自动生成与部署，屏蔽底层编程细节，使学生聚焦算法本质^[4]。弥补了仿真和代码实现之间的巨大鸿沟。

（三）符合本专业培养大纲

选择大疆 M3508 直流无刷电机作为载体，因其典型性、复杂性适中及工程实践性强，同时使用的 CAN 总线这一汽车电气系统常用的总线接口，可以让车辆工程专业的同学增加 CAN 总线的理解，对完美支撑三阶能力训练与双轨对比实验，同时使课程目标明确更加明确的对应“工程知识”、“问题分析”、“设计/开发解决方案”和“研究”等毕业要求，并通过形成性评价与终结性评价相结合的方式考核达成度^[5]。

二、“三阶递进”教学内容的实施与案例

（一）课程目标的多维定位

本课程立足“新工科”建设要求，面向车辆工程专业人才培养目标，确立“知识—能力—素养”三位一体的多维教学目标。

在知识维度，强调学生掌握经典控制理论与智能控制基础，熟悉基于模型设计（Model-Based Design, MBD）的开发流程；在能力维度，注重培养学生从系统建模、算法设计到嵌入式代码生成与硬件部署的全流程开发能力^[6]；在素养维度，突出工程伦理意识、跨学科融合思维与技术创新勇气的培育。课程强调从“会算”向“会做、会调、会比、会判”的能力跃迁，呼应《工程教育认证标准》对复杂工程问题解决能力的要求^[7]，为后续“三阶递进”项目化教学提供明确导向。

（二）“三阶递进”实验内容的阶段划分

为破解理论与工程实践脱节难题，课程以“直流无刷电机转速控制”为统一项目载体，构建“三阶递进”实验训练体系，培养学生系统化工程能力。

阶段一（开环控制实验）：以建立硬件操作与系统响应认知为目标，学生通过单片机编程驱动电机，给定电流并观测转速变化，直观理解输入—输出关系，奠定闭环控制基础，支撑硬件及接口应用能力培养^[8]。

阶段二（系统参数辨识与建模）：学生运用扫频法及 Matlab/Simulink 工具箱，对 M3508 电机进行参数辨识，获取传递函数模型，训练理论指导实践能力，支撑控制理论与建模能力，为控制器设计提供依据。

阶段三（闭环控制与性能优化）：核心阶段采用“传统 PID+RL 智能控制”双轨模式，学生分别完成 PID 参数整定、RL 智能体训练与部署，通过多环节验证，将算法生成嵌入式代码实现高精度转速调控，支撑多项课程目标，培养综合创新能力^[9]。

该体系衔接各阶段任务，贴合行业流程，让学生完成从感知到应用的全过程训练，弥合理论与实践鸿沟，为后续实践奠定基础。

三、“双轨并行”与“MBD 贯通”的关键技术实现

（一）“传统 PID 控制”轨道的设计与实现

本轨道聚焦自动控制原理的核心——比例—积分—微分（PID）控制器，强调参数整定的物理意义与工程实践能力。教学过程中，学生首先依据实验指导书在 Simulink 环境中对参数辨识得到的传递函数开展仿真整定实验，理解 K_p 、 K_i 、 K_d 对系统动态性能的影响机制。接着，将电机接入，使用硬件在环仿真实验进一步完成参数正定，最后，依托 MBD 代码自动生成技术，将验证后的控制模型一键部署至 STC32G 等嵌入式硬件平台。此过程特别注重引导学生分析“仿真—实物”性能差异（如采样延迟、非线性扰动等），完成从理论建模到工程落地的关键跨越，有效提升其系统调试与问题诊断能力。

（二）“强化学习控制”轨道的创新引入

为拓展学生对智能控制前沿的认知，课程创新性地深度强化学习（Reinforcement Learning, RL）纳入本科教学体系。学生在 Simulink 中构建受控对象的数字孪生环境，自定义状态空间、动作空间及奖励函数，并采用深度确定性策略梯度算法（Deep Deterministic Policy Gradient, DDPG）等先进算法训练智

能体。关键突破在于：训练完成的神经网络模型同样可通过 MBD 技术生成高效 C 代码，部署于资源受限的嵌入式系统，实现 AI 模型的轻量化嵌入式落地。此举不仅打破了“AI 仅限上位机”的认知局限，更让学生亲历“算法－训练－部署”全链条开发流程。

（三）双轨控制器的性能对比分析

作为本教学模式的实证核心，课程设置统一实验平台，要求学生分别实现 PID 控制器与 RL 智能体，并在相同工况下采集阶跃响应、抗扰性、能耗等指标^[10]。通过定量对比（如超调量、调节时间、稳态误差等），引导学生深入思考两类方法的适用边界：传统控制在模型已知、扰动可测场景下具有高可靠性和可解释性；而强化学习在复杂非线性、模型未知环境中展现出更强的自适应潜力。该对比不仅深化了学生对控制本质的理解，也培养了其“按需选型”的工程决策思维。

四、教学效果评估与实证分析

为科学验证教学改革成效，本研究采用定量与定性相结合的多元评估体系，覆盖学习成果、能力提升与教学满意度三个层面。

（一）学习成果对比分析

为客观评估“双轨并行、三阶递进、MBD 贯通”教学模式改革效果，本研究选取改革前所授的 22 车辆一、二班（共 N=74）作为参照组，改革后首次完整实践该模式的 23 车辆一班（N=38）作为实验组，对其课程核心目标达成度、综合实验能力及主观评价数据进行对比分析。结果显示（见表 1），教学模式改革在多个维度上均取得了显著成效。

表 1：教学改革前后班级课程目标达成度与实验能力对比

评估维度	参照组（22 车辆，改革前）	实验组（23 车辆一班，改革后）	提升幅度 / 对比分析
关键实践能力：课程设计目标达成	整体偏低，约为 0.61	全面提升，各目标达成度均衡，约为 0.72	实践教学成果突出。得益于“三阶递进”的项目化课设计，23 车辆一班在课程设计各项目标达成上相比 22 车辆班均有 6%~15% 的提升，特别是此前最薄弱的闭环控制与工具整合能力（目标 2）提升最为显著，证实了项目化、分阶段训练的有效性。
学生自我评价（问卷）	总体满意度：0.72	总体满意度：0.779	学习体验显著改善。高达 85% 的学生认为“MBD 全流程实践”提升了工程实现信心；92% 的学生认为“双轨对比”帮助其理解了控制方法的适用边界（问卷反馈）。
实验成绩表现	实验均分：65~83 分	实验均分：稳定在 78 分左右	过程考核稳定性增强。改革后通过细化的预习、操作、报告评价，以及增加音视频指导，弱化了设备、偶然因素影响，学生实验成绩分布更为集中，体现了训练过程的可控性和公平性。

五、结论

通过对比分析可见，教学模式改革虽未在传统理论知识考核（目标 1）上带来突破性分数提升，但根本性地优化了学生的能力结构。改革显著强化了学生的工程实践能力轴心（目标 2 达成度稳定与强化、课程设计能力大幅提升），并有效激活了其综合应用与创新意识（目标 3 质性改善、自我评价积极）。这实现了从“重分数”到“重能力”、从“知识离散”到“体系贯通”的转变，完全契合新工科背景下对复杂工程问题解决者的培养定位。

（一）持续改进机制

课程建立了常态化的“课程建设研讨会”作为问题分析与决策的核心平台。例如，针对 22 级教学中暴露的问题，课程组于 2024 年 7 月 1 日在专题研讨会上与学生代表共同分析，凝练出五项改进措施，包括优化考核引导、强化过程管理、深化内容改革、创新课堂互动及重构实验体系。

这些措施在 23 级车辆工程专业改革实验组中系统实施：实验体系重构为“开环控制、系统辨识、闭环控制”三阶递进的直流无刷电机转速控制综合项目，引入 MBD 流程，解决理论与硬件脱节问题；评价方式细化为“功能实现 + 过程记录 + 报告撰写”综合评价；资源配套升级，增购开发板并上传实验讲解视频与动画，方便学生预习查阅。

基于 23 级的新反馈（如部分学生反映强化学习入门门槛高），课程组已在 2025 年 7 月 1 日的研讨会中，规划了下一轮改进方向：开发“Python 与强化学习基础”前置微课，并探索引入云端仿真资源以缓解实体硬件压力。

综上，本课程所建立的闭环反馈与持续改进机制，确保了教学改革能够“从学生中来，到学生中去”，实现了以评促改、以改提质的良性循环。

参考文献

[1] 林健. 面向未来的中国新工科建设 [J]. 清华大学教育研究, 2017, 38(2): 26-35.

[2] 李俊红, 姜平, 周根荣. "自动控制原理"教学改革探索与实践 [J]. 中国教育技术装备, 2007(9): 18-19.

[3] 王希. 高校创新创业教育与专业教育融合路径研究 [D]. 河北大学, 2019.

[4] 薛定宇. 控制系统仿真与计算机辅助设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[5] 李志义. 解析工程教育专业认证的成果导向理念 [J]. 中国高等教育, 2014(17): 7-10.

[6] 付贵海, 周慧, 曾革. 地方应用型高校创新创业教育与专业教育融合路径研究与实践 [J]. 湖南科技学院学报, 2022, 43(5): 119-121.

[7] 朱翠兰, 孙秋. 创新创业教育融入专业教育的路径研究 [J]. 创新创业理论与实践, 2022, 5(18): 4-5.

[8] 刘德学, 曾春军, 李杰, 等. 低地板现代有轨电车被动液压制动系统设计与分析 [J]. 机电信息, 2020, (26): 16-17+19.

[9] 刘李婷, 冯浩, 周晨曦, 等. 非线性摩擦智能建模与高低速补偿控制 [J/OL]. 机械设计, 1-10, 2025.

[10] 易帆. 智能汽车场地测试用目标假车路径跟踪控制方法研究 [D]. 重庆理工大学, 2024.