基于自研车用驱动电机可调参虚实结合实验平台的教学改革实践

樊利康[1,2]
1. 宜宾西华大学研究院，四川宜宾
2. 西华大学汽车与交通学院，四川成都
DOI：10.62836/jer.v4n5.1156

摘要：在新能源汽车产业高速发展与工程教育专业认证的背景下，《驱动电机及控制技术》课程传统实验教学存在内容与产业脱节、虚实环节割裂、设备开放性不足、创新培养薄弱、考核评价单一等核心痛点。针对上述问题，本文自主研制以全开放可编程、高精度虚实交互为核心特征的车用驱动电机可调参虚实结合实验平台，据此构建基础验证型-综合设计型-研究创新型三层递进的实验内容体系，创新虚实融合、项目驱动的闭环教学模式，建立多元化过程性考核评价机制，并设计课程思政全流程融入路径。两轮教学实践结果表明，该改革方案显著提升了课程教学质量与学生工程实践能力，课程核心能力指标平均达成度从0.68 提升至0.89，可为同类工科课程的实验教学改革提供可复制的参考范式。
关键词：驱动电机及控制技术；虚实结合；实验平台；实验教学改革；工程实践能力

Teaching Reform Practice Based on a Self-Developed Adjustable-Parameter Virtual-Real Integrated Experimental Platform for Automotive Drive Motors

Likang Fan [1,2]
1. Xihua University Research Institute, Yibin, Yibin, Sichuan
2. School of Automobile and Transportation, Xihua University, Chengdu, Sichuan

Abstract: Against the backdrop of the rapid development of the new energy vehicle industry and the professional accreditation of engineering education, the traditional experimental teaching of the course Drive Motors and Control Technology has core pain points, including disconnection between teaching content and industrial practice, separation of virtual and physical links, insufficient openness of experimental equipment, weak cultivation of innovative ability, and a single assessment and evaluation mechanism. To address these isslues, this paper independently develops an adjustable-parameter virtual-real integrated experimental platform for automotive drive motors, which features fully open programmability and high-precision virtual-real interaction. Based on this platform, a three-level progressive experimental content system consisting of basic verification, comprehensive design, and research

*基金项目：西华大学校级教育教学改革项目（产教融合专项）“案例中学、需求中练—新能源汽车电子控制课程教学创新设计”（编号：xcjz2025016）。

innovation is constructed. A closed-loop teaching mode integrating virtual and physical elements and driven by projects is innovated, a diversified process-oriented assessment and evaluation mechanism is established, and a full-process integration path for curriculum ideology and politics is designed. The results of two rounds of teaching practice show that this reform scheme has significantly improved the teaching quality of the course and students' engineering practice ability, with the average achievement degree of the course's core competence indicators rising from 0.68 to 0.89. This work can provide a replicable reference paradigm for the experimental teaching reform of similar engineering courses.

Keywords: Drive Motors and Control Technology; virtual-real integration; experimental platform; experimental teaching reform; engineering practice ability

1 引言

1.1 研究背景

新能源汽车产业规模快速扩张，车用驱动电机控制是核心技术环节，企业急需既懂理论又能动手的电机控制技术人才[1]。《驱动电机及控制技术》是车辆工程新能源方向的核心必修课，理论抽象、实践性强，实验教学是理论转化为工程能力的关键载体。

新工科建设与工程教育认证都明确要求工科课程对接产业需求、强化实践育人，侧重培养学生解决复杂工程问题的能力[2,3]。但这门课的传统实验教学模式，已经跟不上人才培养的新要求。

1.2 国内外研究现状

国内外高校已针对电机类课程实验教学做了不少探索。欧美高校多采用项目式学习模式，依托校企联合实验室引入工业真实项目，实验平台开放度高，支持学生自主完成算法设计与硬件验证[4]。

国内研究主要集中在几个方向：教学模式上，张银涛等[5]以工作过程为导向，将企业维修诊断任务转化为项目化学习模块；陈哲等[6]搭建了永磁同步电机直接转矩控制实验平台，实现仿真与半实物仿真相结合；马其华等[7]开发多物理场虚拟仿真实验，解决了电机内部结构与物理场难以直观展示的问题。包广清等[8]结合金课建设，通过滑模控制案例培养学生工程思维；刘思嘉等[9]为电机学课程搭建多元化评价体系，强化过程性考核。此外，刘利娜[10]、蒋波等[11]分别从产教融合、课程思政角度开展了相关探索。

整体来看，现有研究仍有三点明显不足：一是多针对通用电机教学，缺少车用驱动电机的专属实验平台；二是虚拟仿真与实物实验多分开设计，没有实现上位机与硬件的深度虚实融合；三是商用实验台功能固化，不支持自主编程开发，制约了学生创新与实践能力培养。

1.3 研究思路与整体框架

针对这些问题，本文结合西华大学课程教学实际，自主研制车用驱动电机可调参虚实结合实验平台，系统推进实验教学改革，整体框架如**图1**所示。

改革以课程目标、能力需求、学科前沿为驱动力，从内容重构、项目创新、教学变革三个维度设计核心举措，按照教师导学、学生编程、平台操作、数据分析四个环节落地，最终落脚于学生能力提升、教学资源积累与成果推广应用。整体形成“驱动力-平台支撑-举措实施-过程执行-成果产出-反馈优化”的闭环，通过教学成效反向优化改革方案，实现持续改进。

2 传统实验教学的核心痛点与改革驱动力

结合西华大学车辆工程专业往届实验教学反馈、新能源车企岗位能力调研结果，传统《驱动电机及控制技术》实验教学的问题集中体现在四个方面，也是本次平台自研与教学改革的直接动因。

（一）实验内容偏离产业实际。现有商用实验台多以直流电机、异步电机基础实验为主，车用永磁同步电机矢量控制、闭环参数整定等产业核心技术涉及极少，学生做完实验仍不了解车企电机控制的真实流程。

（二）仿真与实物完全脱节。上机仿真和实验室实操分开排课，中间间隔1-2周，学生仿真时调得通参数，到实物平台就无从下手，理论知识很难转化为动手能力。

（三）设备开放性不足。商用实验台多为封装好的集成模块，学生只能按步骤调用预设功能，不能自主编写控制算法、修改底层参数，想做一点创新尝试都受硬件限制。

（四）考核方式片面。成绩基本由实验报告决定，学生抄报告、凑数据的情况时有发生，真实的调试能力、问题排查能力得不到体现。

这些问题的核心矛盾在于：现有实验体系既没有对接产业真实需求，也没有给学生留出自主探索的空间，必须从平台硬件到教学模式做系统性改造。

3 改革支撑：车用驱动电机可调参虚实结合实验平台设计与实现

为解决上述痛点，我们自主设计研制了这套车用驱动电机可调参虚实结合实验平台。

平台采用四层分层架构如**图2**所示：上位机层提供图形化界面与C语言编程接口；控制层以STM32单片机为核心，运行控制算法、处理信号；驱动层包含功率驱动与信号调理电路；执行层搭载多种电机与配套传感器。各层通过标准通信协议交互，形成完整控制闭环。

平台核心功能围绕可调参、可编程、可交互设计，对应解决的教学痛点如**表1**所示。经测试，平台各项核心指标均达到或优于设计要求，可满足教学使用需求，具体参数如**表2**所示。

4 基于实验平台的教学改革实施路径

4.1 核心举措一：课程内容重构与三层递进实验体系设计

我们重构了课程实验内容，将实验学时从4学时增至8学时，把控制算法设计、参数优化等内容从课堂移到实验环节，实现“做中学”。

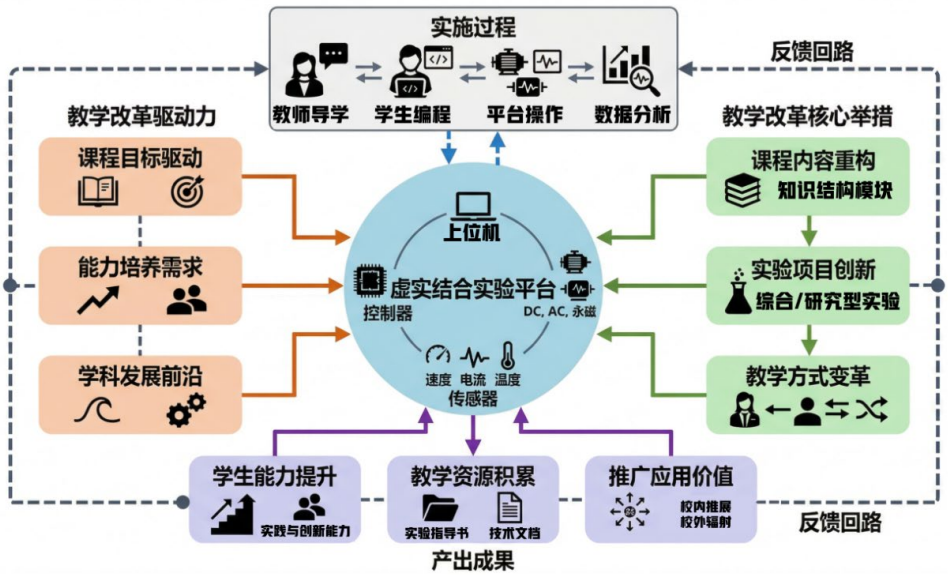
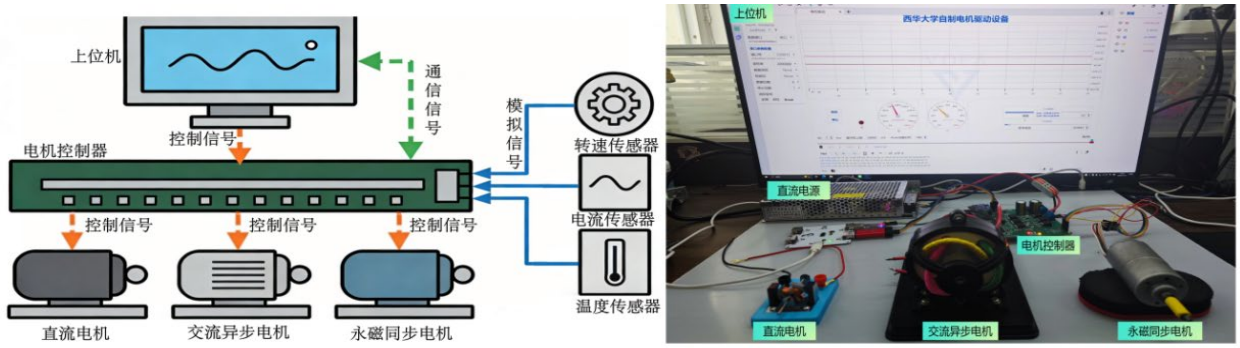


图1. 本文的整体逻辑框图



（a）. 自研实验平台信号图　　（b）. 自研实验平台实物图

图2. 自研实物平台

表1. 平台核心功能与教学支撑对照表

核心功能	技术实现简述	对实验教学的支撑作用	解决的痛点
全开放可编程	C语言编程接口与底层驱动库	完成从算法设计到实物调试的全流程工程实践	设备开放性不足，创新培养受限
高精度虚实交互	采集频率≥200Hz，延迟≤30ms	实时对比仿真与实测波形，理解理论与实际差异	虚实教学割裂，理论转化率低
多电机兼容	支持直流电机、交流异步电机、永磁同步电机，预留扩展接口	可开展多电机特性对比实验	内容与产业脱节，覆盖面窄
全方位安全保护	过流/过热/漏电保护	保障自主探索过程中的设备与人身安全	创新能力受限，不敢放手探索

表2. 实验平台核心技术指标达成情况

指标类别	设计指标	实际达成指标
转速测量	精度1±r/min，范围0-3000r/min	精度1±r/min，范围0-3000r/min
电流测量	精度0.1±A，范围0-10A	精度0.08±A，范围0-10A
虚实交互	传输延迟≤50ms	传输延迟≤30ms
数据采集	采集频率≥100Hz	采集频率≥200Hz
控制模式	开环/闭环控制	支持双闭环矢量控制、V/F控制等
编程功能	支持C语言编程	全开放编程，提供标准接口与示例代码

实验项目按基础验证-综合设计-研究创新三层递进设置，如**图3**所示：基础层设置直流电机开环调速、闭环PID控制实验；综合层包含交流异步电机V/F控制、永磁同步电机矢量控制、波形采集分析、温度监测保护等实验；创新层设置C语言算法编程、多电机控制对比等拓展内容。

4.2 核心改革举措二：虚实融合的四阶段闭环教学

我们采用虚实融合、项目驱动的教学模式，将实验过程分为四个阶段，如**图4**所示，推动学生从被动验证转向主动探究：1）教师导学（15%）：课前发布任务与学习资料，引导学生预习理论知识，侧重激发自主探究意识。2）学生编程（20%）：学生利用平台C语言接口自主编写控制算法，把课堂理论转化为可执行代码，完成设计、编写、调试全流程。3）平台操作（35%）：将算法下载到控制器，在真实电机上验证效果，通过上位机实时调整参数，观察参数对电机运行状态的影响。4）数据分析（30%）：导出实验数据，用Excel、Matlab等工具绘制曲线、计算性能指标，完成实验报告。

4.3 核心改革举措三：多元化过程性考核评价

我们搭建了过程+结果+创新三位一体的多元考

核体系，如**表3**所示，改变单一靠实验报告评分的模式。

这套考核覆盖学习全流程，能更全面地反映学生的工程实践与创新能力，减少抄报告、凑数据的问题，引导学生关注实验过程与能力提升。

4.4 核心改革举措四：课程思政全流程融入路径设计

课程思政没有单独设置教学环节，而是嵌入到各层级实验项目的操作过程中。基础验证实验中，

表3. 三位一体的多元考核体系表

考核维度	权重	考核核心内容	考核方式
过程性考核	50%	课前预习情况、课堂参与度、编程调试过程表现、平台操作规范性、团队协作能力	教师现场评价+学生互评+过程记录
结果性考核	30%	实验数据完整性、数据分析深度、实验报告规范性、理论与实践的结合度	教师对实验报告与数据成果进行综合评价
创新性考核	20%	算法改进与创新设计、拓展性任务完成情况、问题解决的创新性思路	学生现场答辩+成果创新性评价

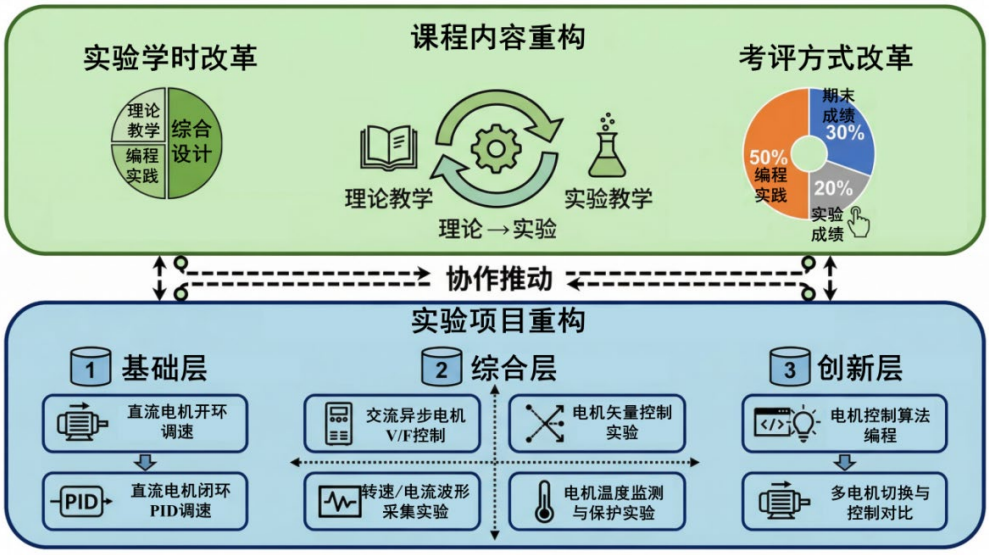


图3. 核心举措一设计逻辑

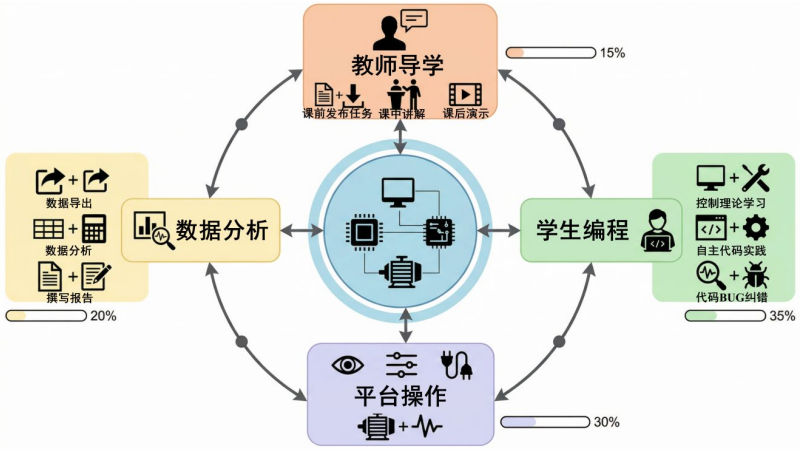


图4. 核心举措二设计逻辑

重点强调操作规范与数据严谨性，要求学生严格按照接线流程、校准步骤操作，数据偏差超标的必须返工重测，在细节中培养严谨务实的工匠精神。综合设计实验，讲解永磁同步电机控制技术时，同步引入国内新能源车企驱动电机的技术突破案例，比如国产电机控制器的自主化历程，让学生直观感受技术攻关对产业发展的价值，建立专业认同感。研究创新实验中，鼓励学生针对算法调试中遇到的问题自主查阅文献、提出改进方案，引导学生理解技术创新不是凭空而来，是在反复试错中迭代出来的，建立创新驱动的工程理念。

4.5 核心改革举措五：持续改进机制构建

教学改革不是一次性完成的，而是伴随每一轮教学同步优化。如**图5**所示，每轮实验课后，我们都会发放随堂反馈问卷，收集学生对平台操作、指导书内容、实验难度的具体意见；期末组织学生代表座谈，梳理硬件使用、编程调试中遇到的共性问题。针对反馈集中的上位机卡顿、示例代码注释少、指导书步骤不细致等问题，我们逐项制定优化方案：硬件端优化通信协议降低延迟，软件端补充代码注释与常见报错说明，指导书增补调试技巧与问题排查章节。两轮教学迭代下来，实验硬件故障率下降40%，学生单次编程调试的平均耗时缩短30%，实验指导书的满意度提升了25个百分点。所有优化结果都会同步更新到平台设计与课程大纲中，形成教学反馈带动内容迭代的闭环。

5 教学改革成效验证

本文的教学改革方案已在西华大学车辆工程专业新能源汽车方向开展两轮教学实践，覆盖126名本科生，通过工程教育认证指标达成度分析、考核成绩对比、问卷调查、学生成果统计等多种方式，对改革成效进行了全面验证，如**图6**所示。

5.1 课程教学质量与核心能力达成度显著提升

基于工程教育专业认证的毕业要求指标点分解，课程对应3项核心能力指标，两轮教学实践数据显示，课程核心能力指标平均达成度从改革前

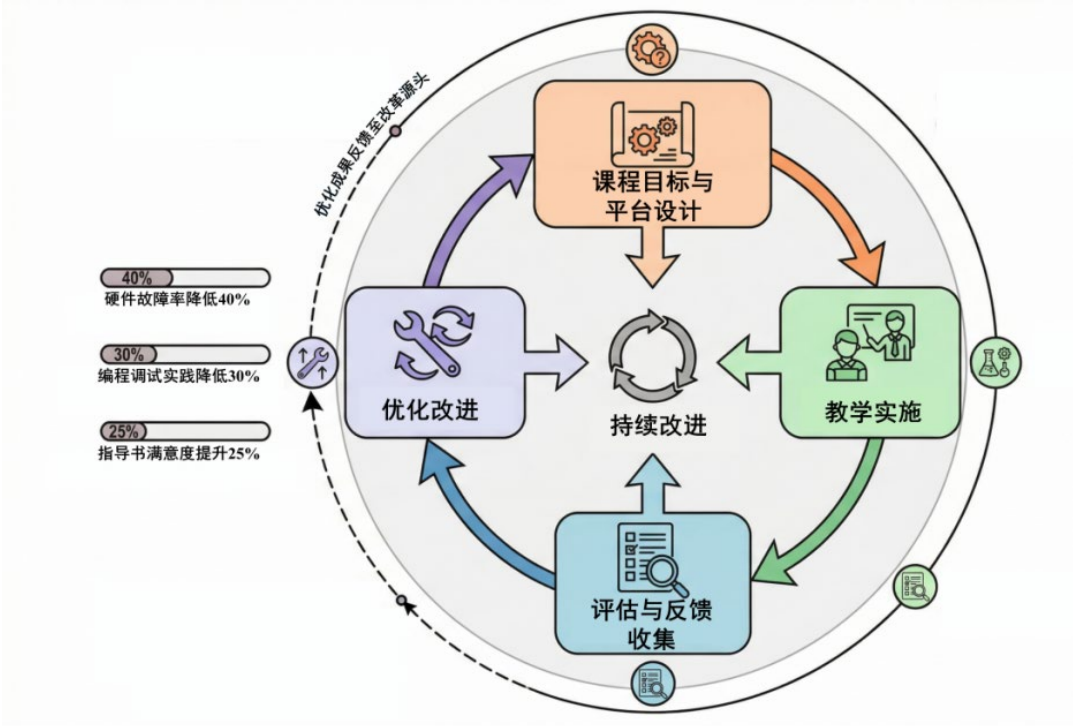


图5. 核心举措五设计逻辑

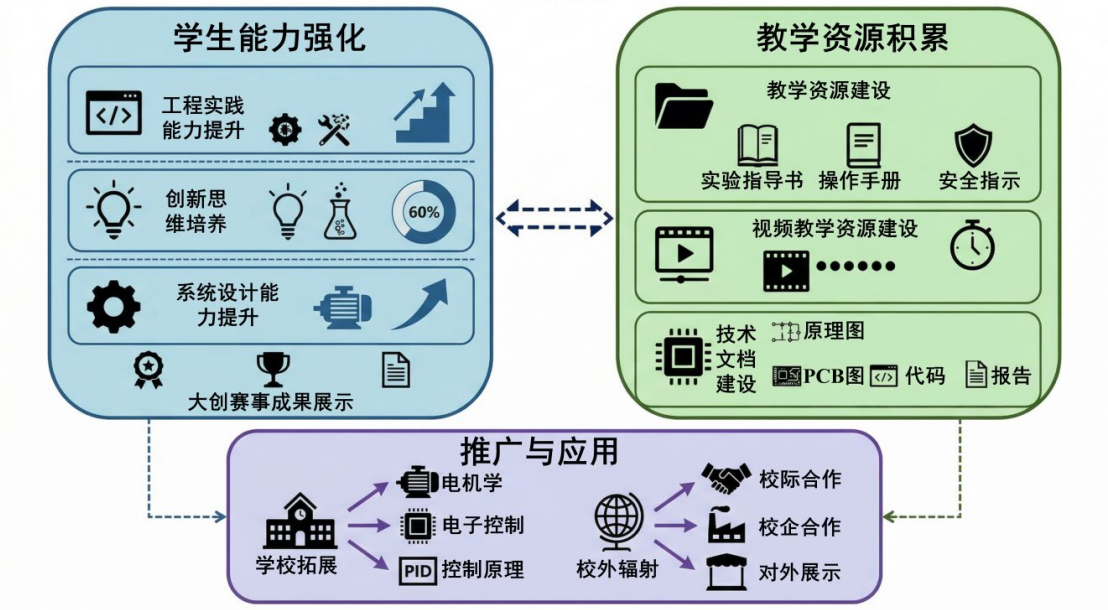


图6. 教学改革汇总图

的0.68提升至0.89，各项指标均远超工程教育认证0.6的合格线。课程期末考核平均成绩较改革前提高15个百分点，不及格率从8.2%降至1.6%，学生对课程的整体满意度从78%提升至96%。

5.2 学生工程实践与创新能力全面增强

实践能力层面，两轮教学结束后，除2名基础较弱的学生需助教辅助外，其余学生均可独立完成车用电机控制算法的编写、下载与实物调试，不再完全依赖预置例程；大部分学生能自主排查接线、代码编译、参数异常等常见问题。创新能力层面，超过60%的学生在基础算法上做了改进尝试，比如给PID控制加入积分分离、抗饱和处理，部分小组还对比了不同控制参数下的电机温升与效率差异。这些实验成果累计孵化出12项校级及以上大学生创新训练项目，8项作品在省级及以上学科竞赛中获奖，学生的系统设计与问题解决能力得到了实际锻炼。

5.3 形成了可复制、可推广的教学资源与改革范式

目前项目已形成完整的实验教学资源包，包括1.2万字的实验指导书、上位机与控制器操作手册、3套安全操作规程，以及全套硬件原理图、底层驱动库与示例代码，全部纳入学院实验教学资源库，可直接用于日常教学。这套自研平台+三层实验体系+闭环教学模式的改革路径，不依赖高价商用设备，适配地方院校的经费条件，不仅可在本校电气工程、机器人工程等相关专业迁移应用，也能为同类工科院校的电机控制类实验课程改革提供可落地的参考。

6 结语与展望

本文围绕实验平台的研制与应用，系统开展了电机控制课程实验教学改革，取得以下成果。

（一）平台研制方面，成功开发具有多电机兼容性、编程接口开放、虚实交互实时等核心特征的实验平台，各项技术指标均达设计要求，为教学改革提供了坚实技术支撑。

（二）教学改革实施方面，构建涵盖驱动力、平台支撑、核心举措、实施过程、产出成果、反馈优化的完整闭环框架，设计了8个层次递进的实验项目，形成“教师导学-学生编程-平台操作-数据分析”的实践教学模式。

（三）人才培养成效方面，课程核心能力指标平均达成度从0.68提升至0.89，学生编程能力、算法实现能力、数据分析能力均有显著提升。

本文仍存在以下不足：硬件长时间运行稳定性有待提升；编程接口兼容性需持续优化；实验项目覆盖电机类型有限，后续可扩展至开关磁阻电机等新型电机。

参考文献

[1]袁新枚,范涛.车用电机原理及应用[M].北京:机械工业出版社,2016.

[2]教育部高等教育司.新工科建设指南[Z].2017.

[3]林健.新工科建设背景下地方高校工程教育改革发展刍议[J].高等工程教育研究,2017(3):7-14.

[4] Duco W.J. Pulle, Rached Dhaouadi. Real-Time Embedded Control of Electrical Drives: A New Approach for Bringing Hands-On Experience Into the Classroom[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2023, 17(2): 45-53.

[5]张银涛,王燕然.工作过程导向的汽车高技能人才培养模式探索-以“新能源汽车驱动电机与控制技术”课程改革为例[J].汽车维修技师,2025(22):65-67.

[6]陈哲,李锦程,高聪,等.永磁同步电机直接转矩控制系统实验教学设计与实现[J].实验科学与技术,2024,22(3):39-46.

[7]马其华,闫业翠,张心光.驱动电机多物理场特性虚拟仿真实验设计[J].中国现代教育装备,2024(9):45-48.

[8]包广清,张萍,王树东,等.“运动控制系统”金课建设的实践与探索[J].电气电子教学学报,2023,45(04):82-87.

[9]刘思嘉,厉虹,张芳,等.混合教学模式下多元化学习评价体系构建[J]. 电气电子教学学报,2022,44(03):35-38.

[10]刘利娜.中高职国际邮轮乘务管理专业一体化课程体系建设实践研究-产教融合视域下[J].现代商贸工业,2026,47(05):69-72.

[11]蒋波,朱佳,余轩,等.虚拟仿真在《电机与电气控制技术》实践教学中的应用[J].内江科技,2025,46(12):63-65.

Copyright © 2026 by author(s) and Global Science Publishing 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