

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 issues, 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 innovation is constructed. A closed-loop teaching mode integrating virtual and physical elements and driven by

*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)。

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

在“双碳”战略与新能源汽车产业高速发展的背景下，车用驱动电机及控制技术已成为新能源汽车核心技术体系的关键组成部分，产业对兼具理论基础与工程实践能力的电机控制专业人才需求持续激增[1]。《驱动电机及控制技术》作为车辆工程专业新能源汽车方向的核心必修课程，兼具理论抽象性与工程实践性，实验教学是实现理论知识向工程能力转化的核心环节。

新工科建设与工程教育专业认证明确要求，工科课程需面向产业实际、强化实践育人，培养学生解决复杂工程问题的能力[2,3]。但传统《驱动电机及控制技术》课程实验教学，已难以适配人才培养的新要求。

1.2 国内外研究现状

针对电机类课程的实验教学改革，国内外高校与学者已开展了大量探索。在国外，欧美高校普遍采用“项目式学习”“做中学”模式，依托校企联合实验室，将工业界真实项目引入实验教学，注重学生自主设计与创新能力的培养，其实验平台多为开放式，支持学生自主完成算法设计与硬件验证[4]。

在国内，诸多学者也开展了卓有成效的改革探索。在教学模式方面，张银涛等[5]构建了工作过程导向的课程改革模式，将企业真实维修诊断任务转

化为项目化的学习模块；陈哲等[6]设计了永磁同步电机直接转矩控制系统的实验教学平台，实现了仿真建模与半实物仿真的融合；马其华等[7]开发了驱动电机多物理场虚拟仿真实验，解决了电机内部结构及物理场难以直观展示的问题。包广清[8]等以“运动控制系统”金课建设为抓手，通过永磁同步电机滑模变结构控制案例的设计与调试，引导学生逐步建立工程思维。刘思嘉等[9]将多元化学习评价体系引入“电机学”课程，提高了过程学习权重，加强了过程学习监控。

在产教融合方面，刘利娜[10]以新能源汽车技术专业为例，探索了中高职一体化课程体系的构建路径。在课程思政方面，蒋波等[11]以“电机与电气控制技术”课程为例，结合课程思政教学目标、教学内容、教学方法与教学评价，对工科课程思政模式进行了系统探索。

综合现有研究来看，当前电机类课程实验教学改革仍存在三方面的核心局限：一是研究多聚焦通用电机基础教学，缺乏面向车用驱动电机场景的专属实验平台设计；二是多数方案或单纯聚焦虚拟仿真，或仅优化实物实验，未能实现虚拟上位机与实物硬件的深度虚实融合；三是实验设备开放性不足，难以支撑学生自主编程与创新开发，限制了学生工程实践能力的系统培养。

1.3 研究思路与整体框架

针对上述问题，本文结合西华大学《驱动电机

及控制技术》课程教学需求，自主研制了车用驱动电机可调参虚实结合实验平台，开展了系统性的实验教学改革，整体框架如图1所示。在框架构建过程中，本研究全面考量了教学改革实施的多维要素，即从课程目标导向、能力培养需求与学科发展前沿三个层面明确改革驱动力；从课程内容重构、实验项目创新与教学方式变革三个层次设计核心举措；从教师导学、学生编程、平台操作与数据分析四个环节构建实施流程；从学生能力提升、教学资源积累与推广应用价值三个维度界定成果产出。并以此构建“驱动力输入-平台支撑-举措实施-过程执行-成果产出-反馈优化”的完整闭环框架，该框架将实验平台的硬件特性与软件功能转化为教学改革的支撑条件，将课程教学目标分解为可操作的实验项目设计原则，将教学实施过程与平台操作流程深度融合。通过反馈回路设计，实现教学成效对改革举措的持续优化，形成动态演进的教学改革机制。

2 传统实验教学的核心痛点与改革驱动力

结合课程教学目标、新能源汽车产业岗位能力需求与往届教学实践反馈，本文将传统《驱动电机及控制技术》课程实验教学的核心痛点归纳为以下

四个方面：

(一) 实验内容与产业需求严重脱节。传统实验仅停留在电机拆装、基础开环调速等验证层面，未覆盖车用永磁同步电机矢量控制、闭环算法开发等产业核心技术内容，与行业实际需求脱节。

(二) 虚实教学环节完全割裂。传统教学中上机仿真与实物实验分置开展，学生普遍存在“懂理论、不会用，会仿真、不会调”的问题，理论知识向工程能力的转化率极低。

(三) 实验设备开放性与支撑性不足。商用集成式实验台功能固化，不支持学生自主编程与自定义算法开发，严重限制了学生工程调试能力与创新思维的培养。

(四) 考核评价机制单一。考核以实验报告为核心，无法客观反映学生的实操能力与过程性表现。

上述痛点共同指向一个核心问题：现有实验教学体系缺乏支撑“理论-实践-创新”贯通培养的平台与模式，构成了对新型虚实结合实验平台的迫切需求。

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

针对传统实验教学的核心痛点，本文设计并研

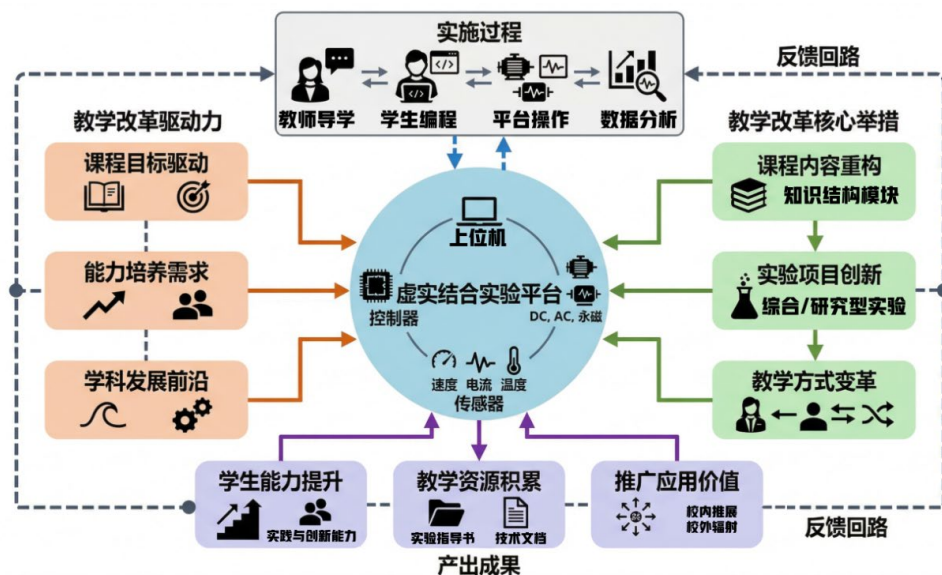


图1. 本文的整体逻辑框图

制了车用驱动电机可调参虚实结合实验平台。

平台采用分层架构设计（如图2所示），由上位机层、控制层、驱动层和执行层四个层次构成。上位机层提供图形化操作界面与C语言编程接口；控制层以STM32微控制器为核心，负责算法运行与信号处理；驱动层包含功率驱动电路与信号调理电路；执行层包括多种类型电机及配套传感器。四层架构之间通过标准通信协议实现数据交互，形成完整闭环。

平台的核心功能围绕“可调参、可编程、可交互”三个关键词展开，聚焦于教学痛点的精准破

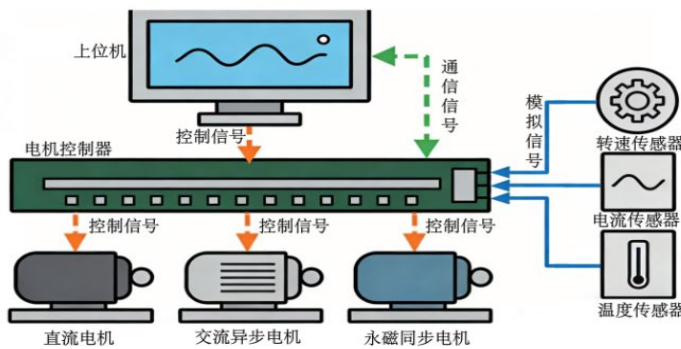
解，如表1所示。

平台经全面测试，各项核心技术指标均达到或优于设计要求，完全满足教学应用需求，核心指标如表2所示。

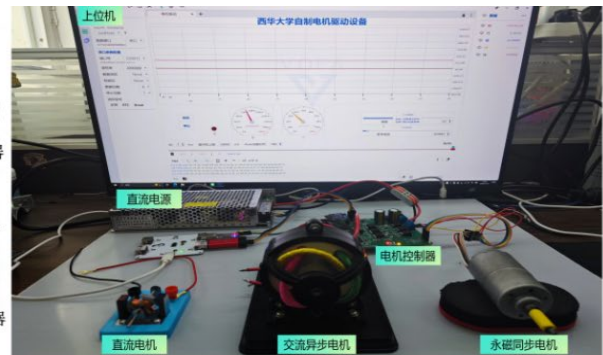
4 基于实验平台的教学改革实施路径

依托上述实验平台，本研究系统设计了教学改革实施路径，将平台的功能特性转化为教学成效。

4.1 核心举措一：课程内容重构与三层递进实验体系设计



(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
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 $1 \pm r/min$ ，范围0-3000r/min	精度 $1 \pm r/min$ ，范围0-3000r/min
电流测量	精度 $0.1 \pm A$ ，范围0-10A	精度 $0.08 \pm A$ ，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

针对传统实验内容与产业脱节、缺乏层级化设计的痛点，本研究重构课程教学内容，设计基础验证型-综合设计型-研究创新型三层递进的实验项目体系，如图3所示。

针对课程内容重构。将实验学时从4学时扩展至8学时，将控制算法设计、参数优化等内容从课堂讲授前置至实验环节，实现“做中学”。针对实验项目体系设计。其中基础层包括直流电机开环调速与闭环PID控制实验；综合层包括交流异步电机V/F控制、永磁同步电机矢量控制、波形采集与分析、温度监测与保护实验；创新层包括C语言算法

编程与多电机对比实验。

4.2 核心改革举措二：虚实融合、项目驱动的闭环教学模式创新

针对传统教学虚实环节割裂、学生被动学习的痛点，本研究创新虚实融合、项目驱动的闭环教学模式，将实验教学实施过程规范为教师导学-学生编程-平台操作-数据分析四个阶段，实现了从教师中心向学生中心、从被动验证向主动探究的根本转变，各阶段的实施要点与权重分配如图4所示，具体如下：

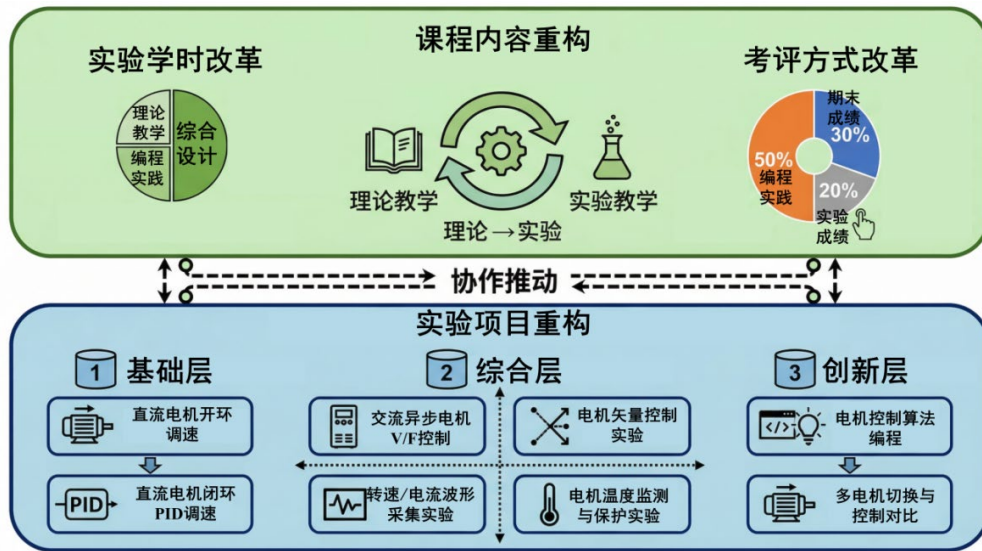


图3. 核心举措一设计逻辑

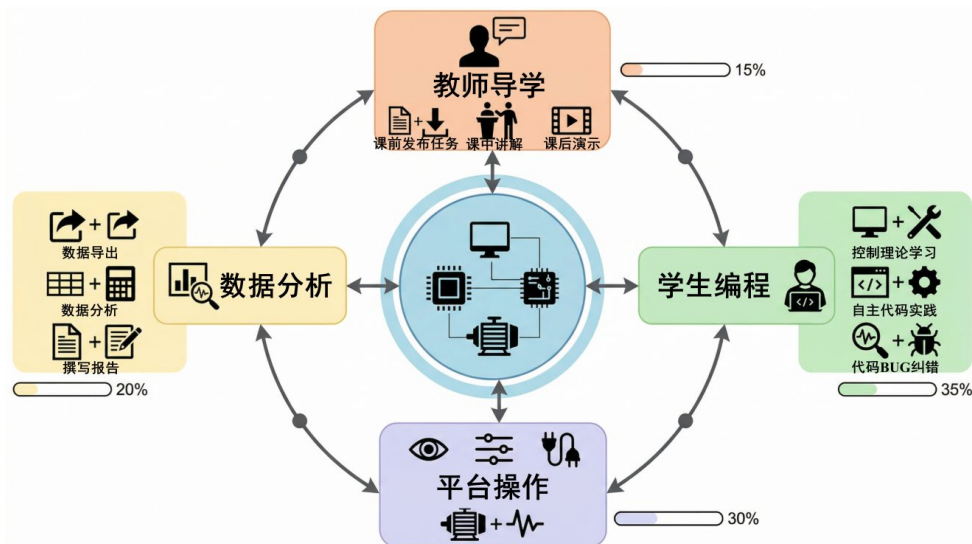


图4. 核心举措二设计逻辑

1) 教师导学阶段(占比15%)：课前发布实验任务与学习资源，引导学生预习相关理论。教师在此阶段扮演“引导者”而非“传授者”的角色，核心是激发学生的自主探究意识。

2) 学生编程阶段(占比20%)：学生基于平台提供的C语言编程接口，自主编写控制算法。编程过程中，学生需要将课堂所学控制理论转化为可执行的代码，经历算法设计、代码编写、编译调试的全过程。

3) 平台操作阶段(占比35%)：学生将编写好的算法下载至控制器，在真实电机上进行验证。通过上位机实时调节控制参数，观察参数变化对电机运行状态的影响。

4) 数据分析阶段(占比30%)：导出实验数据，运用Excel、Matlab等工具分析，绘制响应曲线，计算性能指标，撰写实验报告。

4.3 核心改革举措三：多元化过程性考核评价体系构建

针对传统考核评价机制单一、无法客观反映学生综合能力的痛点，本研究构建了过程性考核+结果性考核+创新性考核三位一体的多元化考核评价体系，考核维度与权重如表3所示。

该考核体系实现了从单一结果评价向全过程多元评价的转变，能够客观、全面地反映学生的工程实践能力、创新能力与综合素养，有效避免了抄报告、凑数据的不良现象，引导学生重视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

结合课程特点与实验项目层级，设计了全流程课程思政融入路径：基础验证层融入工匠精神教育；综合设计层融入家国情怀教育，讲解我国新能源汽车驱动电机产业的发展与技术突破；研究创新层融入创新驱动发展理念。

4.5 核心改革举措五：持续改进机制构建

建立“实践-评估-优化-再实践”的持续改进

机制，如图5所示。通过问卷调查、课堂观察、学生座谈等方式系统收集反馈，针对硬件稳定性、软件兼容性、实验指导书内容等问题制定优化方案。改进后硬件故障率降低40%，编程调试时间平均缩短30%，实验指导书满意度提升25个百分点，优化成果反馈至课程目标与平台设计，形成闭环。

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

工程实践能力方面，95%以上的学生能独立完成车用电机控制算法的编写与实物调试；创新能力方面，超过60%的学生尝试了改进型算法，12项成果转化为学生及以上创新训练项目，8项在学科竞赛中获奖；系统设计能力方面，学生能综合运用多门课程知识设计完整控制系统方案。

5.3 形成了可复制、可推广的教学资源与改革范式

项目配套完成了完整的教学资源包建设，包括实验指导书、设备操作手册、安全操作规程及全套技术文档，全部归档保存。本研究构建的改革框架具有较强的通用性与可复制性，可为同类高校工科课程实验教学改革提供参考范式。

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

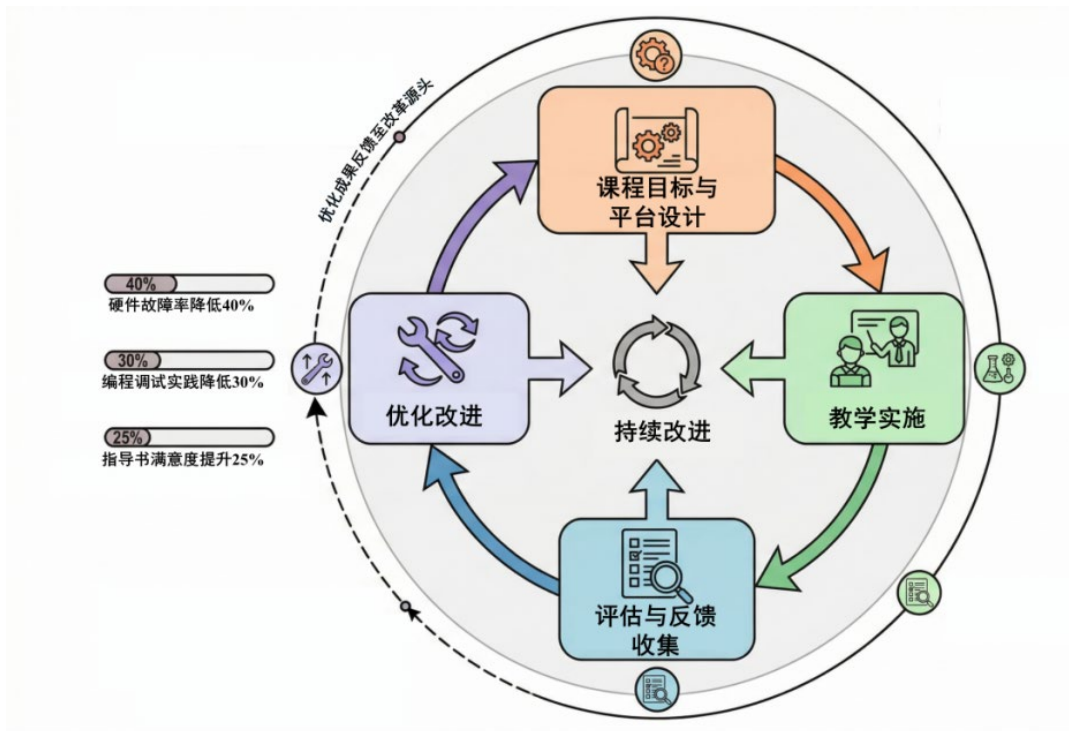


图5. 核心举措五设计逻辑

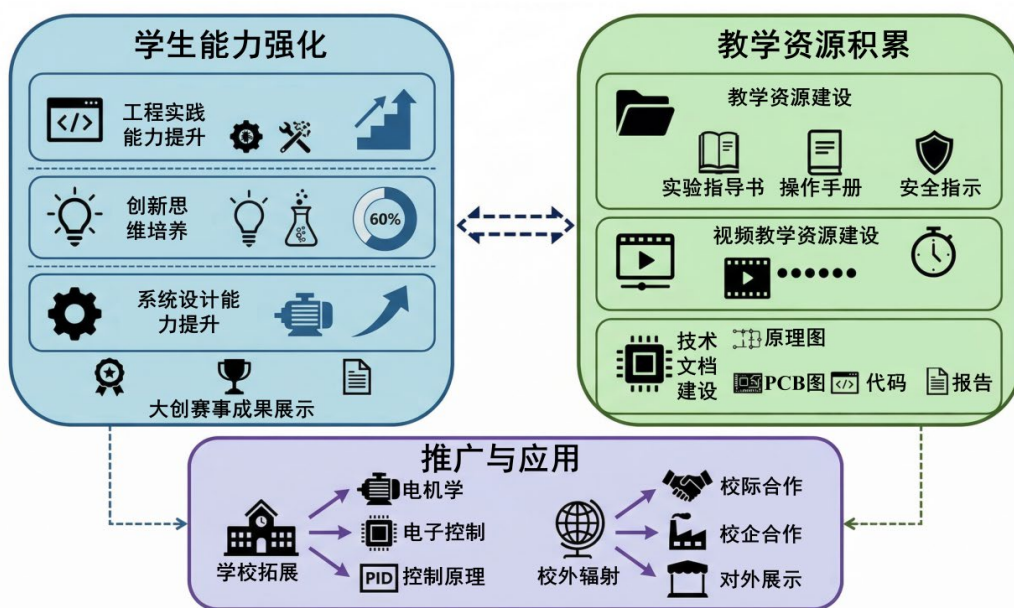


图6. 教学改革汇总图

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持。

(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当议[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.

