

# 基于项目制教学的电机与驱动课程的工程能力探索

## ——以“新能源汽车驱动系统”为例

姜春阳, 纪玉亮, 李丹, 郑纲

东北林业大学控制与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年5月22日; 录用日期: 2026年6月23日; 发布日期: 2026年6月30日

### 摘要

针对电机与驱动课程教学中存在的“电机设计”与“驱动控制”知识割裂、工程实践与理论脱节、传统验证性实验过于简单, 难以培养复杂工程问题解决能力等问题, 本文提出基于项目制教学的课程改革方案。以新能源汽车用永磁同步电机驱动系统为目标载体, 构建从电磁方案设计到控制算法仿真, 再到硬件闭环验证的三阶段递进式项目制教学主线, 将理论讲授、仿真建模、硬件调试与团队协作有机融合。通过电机驱动系统内典型工程指标、构建全方位课程资源、引入开源软硬件平台, 构建校企合作开发案例。深化课程项目指标融入, 并注重前瞻性创新思维的培养。通过这些举措, 为培养适应新时代电气工程领域需求的高素质工程人才提供了一种有益的探索思路。

### 关键词

项目制教学, 电机与驱动, 新能源汽车, 项目驱动

# Exploration of Project-Based Teaching in Motor and Drive Courses

## —Taking the “New Energy Vehicle Drive System” as an Example

Chunyang Jiang, Yuliang Ji, Dan Li, Gang Zheng

College of Control and Information Engineering, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Received: May 22, 2026; accepted: June 23, 2026; published: June 30, 2026

### Abstract

In order to solve the problems in the teaching of motor and drive courses, such as the fragmentation

of knowledge between motor design and drive control, the disconnection between engineering practice and theory, and the oversimplification of traditional verification experiments that make it difficult to cultivate the ability to solve complex engineering problems, this paper proposes a teaching method based on project teaching. In this paper, the permanent magnet synchronous motor drive system for new energy vehicles is used as the target. A three-stage progressive main line of project-based teaching is constructed. From electromagnetic scheme design to control algorithm simulation, from hardware closed loop verification, organically integrating theoretical instruction, simulation modeling, hardware debugging, and team collaboration. By typical engineering parameters in the motor drive system, the construction of comprehensive course resources, and the introduction of open-source hardware and software platforms, and the development of school-enterprise cooperative case teaching, the integration of course project indicators is deepened, with an emphasis on cultivating forward-looking innovative thinking. By these new measures, this paper explores one new way to cultivate high-quality engineering talents who can meet the demands of the electrical engineering field in the future.

## Keywords

Project-Based Teaching, Motor and Drive, New Energy Vehicles, Project-Based

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

随着我国“双碳”目标的深入推进，新能源汽车产业迎来了前所未有的发展机遇。2023年，我国新能源汽车产销量均突破900万辆，市场渗透率超过30%，对电机驱动系统的性能、效率和可靠性提出了更高要求。作为电气工程研究生的重要课程，“电机与驱动技术”承担着培养学生电磁设计、驱动控制及系统集成能力的核心任务，直接关系到高端电驱动人才的供给质量[1][2]。然而，传统教学模式在多个层面存在明显不足，难以满足产业对复合型、创新型人才的迫切需求[3]。

首先，教学内容呈现显著的知识割裂。电机设计与驱动控制往往分属不同课程，学生学习了电机的电磁参数，却无法将其与矢量控制中的最大转矩电流比或弱磁控制策略建立关联；掌握了经典PID调节方法，却难以理解电流环、速度环在实际驱动系统中的协同机制。这种设计理论与工程应用分离的状况，导致学生无法形成从“电机本体”到“驱动系统”的系统认知。其次，课程以理论公式推导为主线，缺乏以真实工程问题为载体的项目驱动。大量繁复的数学推导使学生疲于应对，却缺乏在仿真或硬件平台上动手调试、排查故障的经历。面对新能源汽车驱动系统中诸如非线性磁饱和、参数摄动、传感器噪声等复杂问题，学生往往束手无策，难以整合多学科知识进行综合求解[4]。教学内容明显滞后于产业技术发展。教材仍以经典直流电机、异步电机和常规控制策略为主，对新能源汽车广泛采用的内置式永磁同步电机、弱磁扩速、无位置传感器控制、碳化硅驱动等前沿技术涉及不足，导致学生工程实践能力与行业需求之间存在显著鸿沟，毕业后需要较长的再适应周期。

针对上述问题，本文以“新能源汽车驱动系统”这一典型复杂工程应用为载体，提出基于项目制教学的课程改革方案。通过引入主流车型的典型工程指标，构建从电磁方案设计、控制算法仿真到硬件闭环验证的三阶段递进式项目主线[5]；搭建基于开源软硬件平台的虚实结合实训环境，实现“理论-调试-验证”的教学闭环。改革旨在打破知识孤岛，强化研究生系统思维与工程创新能力，并提出一个以工程能力培养为核心的、可供同类课程参考的实施方案。

## 2. 课程教学现状分析

“电机与驱动”是电气工程专业研究生的重要课程，承担着培养学生电机本体设计、电力拖动、驱动控制及系统集成等综合能力的重要任务[6]。该课程通常包含永磁同步电机本体的结构原理与运行特性，以及电力拖动系统的启动、调速、制动等控制方法。随着新能源汽车产业的迅猛发展，对电机驱动系统设计与研发人才的知识结构和工程能力提出了更高要求。然而，当前该课程的教学实践仍以传统模式为主，存在以下突出问题，难以满足新工科建设和产业发展的需求。

首先，电机设计与驱动控制往往知识点零散，彼此之间缺乏有机衔接。学生学习了电机的电磁参数，却不清楚这些参数如何在矢量控制中的最大转矩电流比或弱磁控制产生影响的因素；学习了PID控制理论，却无法将其与电机实际运行中的电流环、速度环对应起来，导致学生在面对完整驱动系统时难以建立跨学科的关联认知。

其次，当前电机实验仍采用从教师讲解原理，到学生按接线图操作，再到记录波形数据，最后提交报告的模式，实验内容多为简单特性测试验证性项目。学生只需按部就班即可完成，缺少故障排查、参数整定、系统设计等高阶能力训练。尤其对于新能源汽车用永磁同步电机，其驱动控制涉及多种，如弱磁扩速、无位置传感器算法等复杂策略，传统实验平台难以支撑此类实践。

再次，教材内容偏重经典电机结构和传统控制方法，对新能源汽车广泛采用的永磁同步电机、开关磁阻电机等新拓扑，以及模型预测控制、滑模观测器等新算法涉及不足[7]。同时，实验设备多为工业退役的老旧电机或专用教学台架，开放性差，学生无法进行底层代码编写、参数在线调优等创新性实践，导致所学与行业需求之间存在明显鸿沟。

综上所述，当前电机与驱动课程的教学模式在知识整合、工程实践、技术更新等方面均存在明显不足，亟需引入以真实工程问题为载体的项目制教学改革，直接对接新能源、智能制造等国家战略性新兴产业的人才需求，不仅提升学校人才培养素质，也为产业升级提供扎实的人才保障。

## 3. 电机设计与驱动技术课程教学改革方法的改进探讨

电机设计与驱动技术是一门综合性较强的学科，它要求学生具备扎实的电磁场、电机学、电力电子技术和电机调速系统的基本知识。为了提高该课程的教学效果，需不断探索和改进教学方法，充分利用虚拟仿真、实时控制等科技手段，融合项目驱动、案例分析与实验验证等多元化教学方式，提升学生对电机本体设计、驱动策略及系统集成的综合掌握水平，这对于培养新工科背景下的高素质工程人才具有重要意义。本部分从项目式教学、模块化教学和实验式教学三个维度，展开电机设计与驱动技术课程的教学方法改进探讨。

### 3.1. 项目制教学

项目式教学以真实工程问题为牵引，强调在实践中构建知识体系。将该模式引入电机设计与驱动技术课程，能够帮助学生在完成具体项目的过程中，将抽象的电机理论与实际的驱动控制需求深度融合，从而形成系统性的工程认知。此外，项目式教学还能有效调动学生的主动探究意识，激发其解决复杂工程问题的内在动力。围绕本课程，可通过多种形式的项目设计来贯穿电机设计与驱动的核心内容，以下三个已在教学实践中验证的项目方案即为典型示例。

#### 1) 项目案例 1：电动汽车用永磁同步电机的电磁设计与特性分析

目标：掌握电动汽车用永磁同步电机的基本结构、工作原理及关键电磁特性，理解不同转子结构对电机性能的影响。

方法：(a) 设定设计目标为某款主流纯电轿车，电机额定功率约 195 kW，峰值扭矩 340 Nm。(b) 阐

明电动汽车驱动电机对高转矩密度、宽调速范围、高效率的需求，对比表贴式与内置式永磁转子的结构特点及适用场景。(c) 分析电机空载反电势波形、齿槽转矩、交直流电感等关键参数，解释其对弱磁扩速能力的影响。(d) 利用 Ansys Maxwell 有限元仿真软件搭建一台额定功率 195 kW 的车用永磁同步电机模型，进行电磁场仿真，提取反电势、转矩电流特性曲线。(e) 通过参数分析，优化极槽配合、磁钢尺寸，对比不同设计下的转矩脉动与效率分布。(f) 设计实验：在低压小功率样机上实测反电势波形、电感参数，并与仿真结果对比，分析差异原因。

### 2) 项目案例 2: 电动汽车驱动系统的矢量控制与 MTPA 策略

目标：理解并实现永磁同步电机的矢量控制算法，掌握常用控制方法及弱磁控制在电动汽车驱动中的应用。

方法：(a) 阐明坐标变换的数学原理及其物理意义，建立永磁同步电机在旋转坐标系下的数学模型。(b) 分析电流环、速度环的双闭环 PI 控制结构。(c) 结合项目案例 1 中提取的电感电阻数据，在 Matlab/Simulink 中搭建仿真模型，模拟电动汽车起动、恒转矩区、恒功率区的运行工况。(d) 学习编写 DSP 控制代码，实现电流采样、SVPWM 调制、转速闭环控制，对比某款四驱高性能版综合功率 316 kW，扭矩 660 Nm 控制方案。

### 3) 项目案例 3: 电动汽车电机驱动系统故障诊断与容错运行

目标：学习电动汽车电机驱动系统中常见故障的特征，掌握故障诊断与容错控制的基本方法。

(a) 阐明驱动系统典型故障模式：逆变器 IGBT 开路/短路、旋变/霍尔位置传感器信号丢失、直流母线电压异常等，分析其电流波形特征。(b) 研究基于电流信号的故障检测算法，设计阈值判断逻辑。(c) 探究容错控制策略：缺相运行时采用非对称 SVPWM、位置传感器失效时切换至无位置传感器控制。(d) 搭建半实物仿真平台或低压小功率实物平台，注入典型故障，验证诊断算法的准确性和响应时间。(e) 人为断开一相驱动信号或模拟编码器信号丢失，让学生编写诊断程序并实现自动切换至容错模式，记录过渡过程波形。

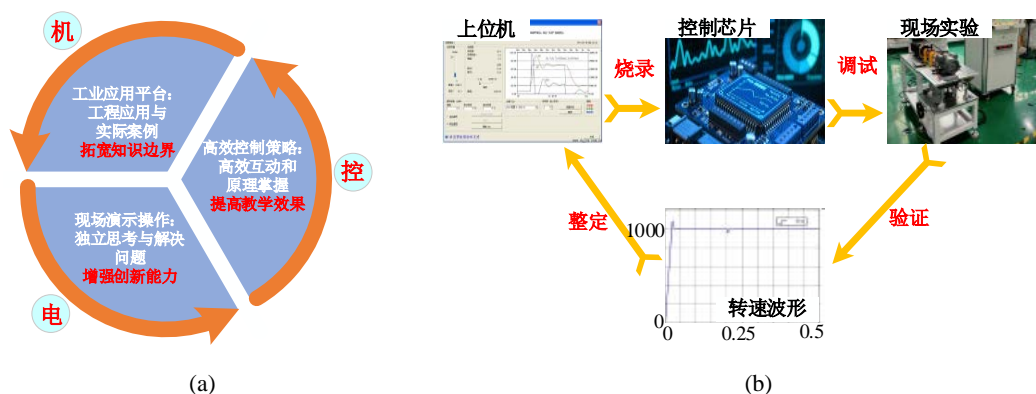


Figure 1. Closed-loop teaching and debugging scheme  
图 1. 闭环教学和调试方案

为确保项目制教学的可操作性与可评估性，课程围绕项目案例设计了一套完整的实施流程与评价体系。项目任务书首先明确具体的工程目标和交付内容。在学生分组与协作方面，每组由三至四人组成，设置电磁设计、算法控制、硬件调试三个角色，分别对应项目案例核心任务。教师在项目中扮演引导者与评估者的双重角色：在项目启动和关键节点，教师通过组织专题讨论引导学生分析问题根源而非直接给出答案；在中期及终期答辩环节，教师依据统一的评分细则对每组的表现进行量化评价。过程性评价

占总成绩的百分之四十，具体包括每周简报完成质量、仿真模型及代码的阶段性提交记录、硬件调试日志的详实程度。总结性评价占总成绩的百分之六十。如图 1 所示。

### 3.2. 实验式教学

实验教学是电机与驱动课程中连接理论与工程实践的关键桥梁。针对传统实验验证性为主、学生参与度低、评价手段单一等问题，以新能源汽车驱动系统为载体，全面提升学生的工程实践与创新能力。

#### (1) 虚实结合的实训环境创设

为满足新工科背景下工程人才培养的需求，课程团队搭建了仿真建模、半实物验证与实物调试三位一体的实训环境。在课堂教学中，强调理论知识、仿真工具与硬件平台的有机联系，以学生为中心，重点培养其动手能力和故障排查能力。

以新能源汽车永磁同步电机驱动系统为例，学生首先在 Matlab/Simulink 环境中搭建矢量控制模型，完成仿真验证，如图 2 所示。随后，将控制算法通过代码生成下载至 TMS320F28335 等 DSP 开发板，驱动一台低压小功率永磁同步电机。实验过程中，学生会遇到实际工程问题，例如电流采样噪声导致转矩脉动、死区效应引起电流波形畸变、旋变解码角度误差造成系统失稳等。

教师以问题式启发，引导学生通过调节滤波器参数、补偿死区时间或校准角度偏移来解决上述问题。通过这种现象观察、问题定位、方案设计与硬件调试的闭环训练，学生不仅掌握了驱动系统的设计方法，还能在硬件平台上反复变换结构、调节参数，观察系统状态的变化，从而深刻理解理论参数与工程实现之间的映射关系。该实训平台如图 3 所示，展示了硬件平台的整体结构。

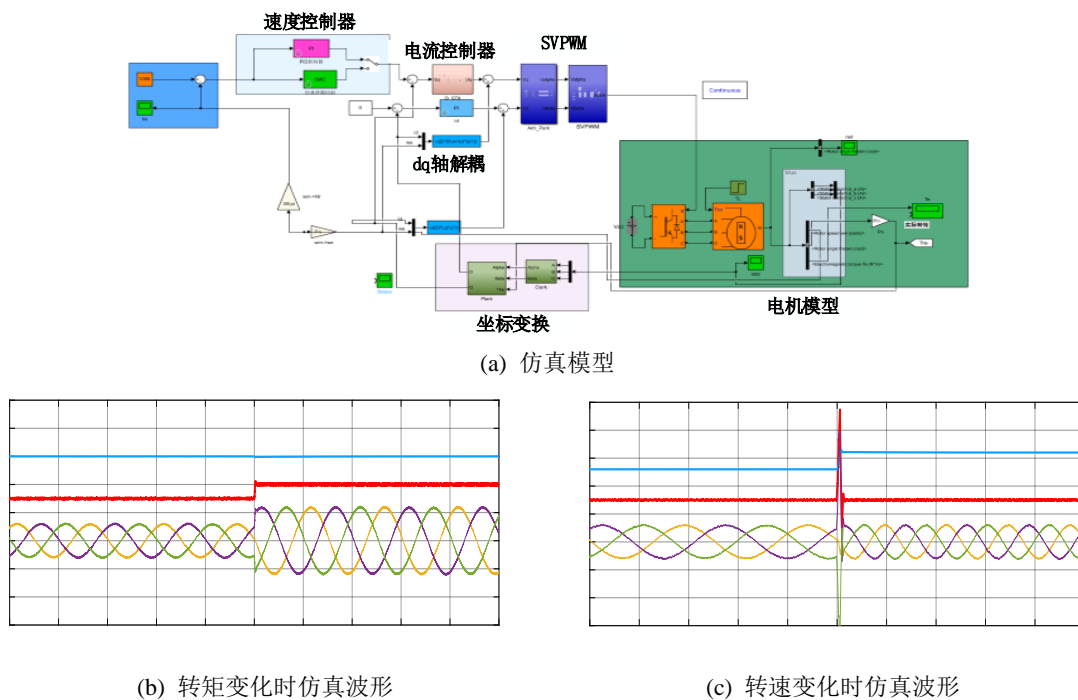


Figure 2. Motor simulation platform and simulation results

图 2. 电机仿真平台及部分仿真结果

#### (2) 分组协作与竞赛驱动的实践模式

课程实验采用小组协作、任务分层、竞赛牵引的组织形式。每组三到四人，分别承担电磁设计、控

制算法、硬件调试角色，确保每位学生都能获得完整的系统设计体验。

以电动汽车驱动系统故障诊断与容错控制实验为例，任务设计参照某电动汽车有关电机控制的要求。学生需完成以下步骤：首先，在仿真环境中分析典型故障的电流特征，如功率管开路、旋变信号丢失等；然后，在半实物平台上注入故障，验证诊断算法的有效性；最后，编写容错控制代码，实现故障后的跛行运行模式。为其未来从事新能源汽车电驱动相关岗位奠定了坚实基础，提升就业竞争力。

### (3) 基于大数据分析的智能化学习评价

为全面、精准地评估学生在实验过程中的学习成效，课程引入了基于大数据分析的智能化评价体系。该仿真实验平台及半实物测试系统在运行过程中，自动采集学生的多项行为数据，包括实验操作时长、仿真模型搭建的路径轨迹、故障排查的尝试次数、代码调试的成功率以及实验报告的关键参数等，每次调试之后每组提交 1 页汇报，对调试过程中问题进行汇报和解决方案进行沟通。通过构建全过程学习，实现对学生学习状态的动态跟踪。



Figure 3. Motor paired towing experiment platform

图 3. 电机对拖实验平台

## 4. 校企深度合作提升学生解决工程问题能力

校企深度合作是提升学生工程问题解决能力的有效途径。教学团队积极深化与企业的协同育人机制，邀请一线工程师参与实际教学案例的筛选与设计。教师将提炼出的工程案例与课程理论知识点有机融合，围绕学生认知发展规律，设计层层递进的问题链，引导学生在解决真实问题的过程中，逐步将所学知识从记忆理解层面提升至分析应用层面。这一过程不仅架起了理论与实践的桥梁，也显著增强了学生分析复杂工程问题的能力及未来岗位胜任力，有效回应了新工科对应用型技术人才的培养要求。

在教学实施中，学生首先通过线上慕课平台自主学习相关理论知识，随后在教师引导下，将所学应用于电机设计优化任务。面对项目实施过程中出现的多个实际问题，学生以团队协作方式开展分析、讨论与调试，在教师的适时指导下逐一攻克难点。最终，该优化方案在企业实际生产中获得成功应用，取得了良好的工程成效。基于此案例，教学团队总结出一套理论嵌入实践到项目驱动认知的教学模式，并在后续课程中进行了推广实践。

## 5. 总结

本文通过分析传统电机与驱动课程教学中存在的知识割裂、实践薄弱、与产业脱节等问题，提出了以新能源汽车永磁同步电机驱动系统这一前沿技术为背景，进行典型工程案例的提炼与项目任务的设计，通过项目制教学、虚实结合实训与智能化评价等多模式交融的课程教学模式，实现理论教学与实践环节

的有机统一。在工程问题的方案选择、仿真建模、硬件调试及故障诊断的全过程中，有效培养了学生的学习兴趣，激发了学生在电机设计与驱动控制领域中的探究积极性，锻炼了创新性思维与系统整合能力，使学生更好地适应新工科背景下对高素质工程人才的要求，为新能源汽车等战略性新兴产业的发展提供有力的人才支撑。

## 基金项目

本文系东北林业大学研究生教育教学研究课题(项目编号: DGYJ2025-31)。

## 参考文献

- [1] 来文豪, 李平, 顾煜林, 朱文松, 胡锋. 新工科和“双碳”背景下的“煤矿供电”课程教学改革探索[J]. 科技风, 2023(16): 96-98.
- [2] 朱志莹, 万琦, 柏杨, 等. “电机学”课程混合式教学改革实践[J]. 电气电子教学学报, 2018, 40(6): 50-53.
- [3] 刘润泽. 电机学教学中创造性思维培养的任务驱动策略[J]. 吉林省教育学院学报, 2026, 42(4): 109-113.
- [4] 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.
- [5] 黄其飞. “虚-实-评”体系下新能源汽车驱动系统教学实践研究——以驱动电机检修为例[J]. 汽车维修技师, 2025(S1): 65-67.
- [6] 王尧, 罗丽平, 李尚平. 电机与拖动课程实践教学研究[J]. 中国现代教育装备, 2025(15): 100-103+107.
- [7] 顾玲. 基于中职“常用电机控制及调速技术”教学研究[J]. 模具制造, 2025, 25(7): 121-123.