

汽车电机课程的产教融合实践研究

刘杰, 杨海军*

上海电机学院汽车工程系, 上海

收稿日期: 2025年3月4日; 录用日期: 2025年4月21日; 发布日期: 2025年4月29日

摘要

在普通高校汽车工程专业教学过程中, 借助汽车电机兼顾机械和电气, 不但是一个比较好的切入点, 而且在培养学生机械、电气和电控等设计和验证能力方面起着尤其重要的作用。文章以汽车电机专业课程为研究对象, 充分考虑产教融合实际需求, 从课程方案, 内容以及试验课设等三个角度出发, 结合汽车专业培养特点, 详细分析了该课程教学的目标, 内容和方法, 设计并总结出汽车电机课程教学与试验课设方案和考核方法, 编制出符合行业企业和高校专业培养计划和要求的教学大纲, 课程试验和课设指导手册, 并在2018, 2020~2021届本科教学实践中实施并进行了教学效果的指标验证, 通过三届学情数据分析, 证明了汽车电机课程产教融合解决方案的合理性, 以及产教融合教学模式下实现了高校教学与企业岗位需求间快速衔接的有效性。

关键词

汽车电机, 专业课程, 产教融合, 实践研究

Practical Research on the Integration of Industry and Education in the Curriculum of Automobile Electric Motors

Jie Liu, Haijun Yang*

Department of Automotive Engineering, Shanghai Dianji University, Shanghai

Received: Mar. 4th, 2025; accepted: Apr. 21st, 2025; published: Apr. 29th, 2025

Abstract

In the teaching process of the automotive engineering major in ordinary colleges and universities, the

*通讯作者。

automotive electric motor, which integrates both mechanical and electrical aspects, is not only a good entry point but also plays an especially important role in cultivating students' design and verification capabilities in mechanics, electrical engineering, and electronic control. This article takes the automotive electric motor professional course as the research object, fully considers the practical needs of the integration of industry and education, and, starting from three aspects—curriculum plan, content, and laboratory course design—combines the characteristics of automotive professional training to conduct a detailed analysis of the teaching objectives, content, and methods of this course. It designs and summarizes the teaching and laboratory course design plans and assessment methods for the automotive electric motor course, and compiles a teaching syllabus, laboratory course, and course design guidance manual that meet the requirements of industry enterprises and the professional training plans of colleges and universities. These materials were implemented in the undergraduate teaching practice of the 2018, 2020~2021 cohorts and underwent validation of teaching effectiveness through indicator assessment. Data analysis from three cohorts of students has proven the rationality of the industry-education integration solution for the automotive electric motor course and the effectiveness of the industry-education integration teaching model in achieving a rapid connection between university teaching and enterprise job requirements.

Keywords

Automobile Electric Motors, Professional Course, Integration of Industry and Education, Practical Research

Copyright © 2025 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. 产教融合理论

产教融合，宏观指产业(行业或企业)与教育(高校或职教)融合，涉及产业与教育间发展协调性问题；微观指生产与教学之间融合，包括：产业与专业，企业与学校，职业标准与课程内容等。此外，融合为两种或多种不同事物合成一体，即融合必然产生了新事物或发生了质变化，因此，产教融合将在产业和教育外产生新业态 - 产业学院或产教共同体。

依据融合程度，可将产教融合分为三种：完全融合，部分融合与虚假融合。从产业与教育关系来看，产业为教育发展提供资金和场地等投入，教育则为产业发展提供人才和技术保障，双方各要素优势互补，共同促进经济和社会效益最大化。目前产教融合大多数为虚假融合，至多停留在部分融合，受各种条件限制或因素影响而很少完全融合。

譬如上海电机学院的应用型普通高校，应根据所设专业积极产教对接，把产业与教学密切结合，相互支持，相互促进，把学校办成集人才培养，科学研究和科技服务为一体的产业型经营实体，形成学校与企业浑然一体的办学模式。总之，产教融合是为提高高校人才培养质量而与行业或企业开展的深入合作，即产业与教育的深度融合。

2. 产教融合发展历程

2017年10月十九大报告首次指出：要深化产教融合。经过近十年发展，产教融合经历了初期结合，中期深入和后期融合等连续发展过程，即从虚假，部分乃至完全融合。

1) 2017年12月国务院发布深化产教融合若干意见，提出深化产教融合主要目标：逐步提高行业企业参与办学程度，健全多元化办学体制，全面推行校企协同育人，用10年时间，教育和产业统筹融合，

良性互动的发展格局总体形成，需求导向的人才培养模式健全完善，人才教育供给与产业需求重大结构性矛盾基本解决，职业教育和高等教育对经济发展和产业升级的贡献显著增强；

2) 2019年7月深改委审议通过了《国家产教融合建设试点实施方案》，提出深化产教融合，是推动教育优先，人才引领和产业创新发展的战略性举措。虽然在政府，高校和企业各方合力推动下，产教融合初见成效，但在全球科技竞争与中美经贸摩擦大背景下，产教融合又不断被赋予新内涵和使命；

3) 为避免产教融合陷入概念改革，必须找到实施路径并脚踏实地从概念走向行动，2023年发改委和教育部等8部门联合印发《职业教育产教融合赋能提升行动实施方案(2023~2025)》，明确2025年国家产教融合试点城市将达到50个左右、在全国建设培育1万家以上产教融合型企业等一系列目标。

因此，与校企合作相比，产教融合所达到的深入程度，层级和广度都更进一步，其具体发展历程仍可从近8年政府政策变化过程中得到印证。

3. 产教融合专业课程研究现状

基于上述产教融合发展思路，从产教合作层次，目的，主体和价值等角度，张秀梅[1]将产教融合和校企合作作了充分对比，并基于电子商务专业课程的价值导向，质量评价，引领协同，师资建设，校企模式和专业培养等方面分析并给出了课程建设的产教融合实施路径，可见产教融合模式运用是高校培养和发展实用型人才的有效解决方案。

此外，在教学目标，内容，方法和评价等方面，产教融合的快速发展极大促进了普通高校专业课程改革，具体涉及了多所高校专业和多门专业课程：

1) 针对湖南工程学院新工科课程群，考虑与行业企业间产教融合，曾宪桃等[2]从土木工程专业课程改革出发，以课程目标，内容和结构为逻辑起点，提出双能双师的师资建设目标，将主干核心课程进行课上，网上和场上等“三上”立体型设置，坚持了全过程，分段式和一体化现场实习的实践教学体系和质量评价标准。

2) 以常州工学院传媒应用本科为例，邓久良[3]从政产学研融合角度，研究了专业课程教学改革，即校企协同，校媒合作和以赛促学的三位一体育人模式，进行了教学内容设计和改革措施等两方面分析后给出了实施路径，具体包括：翻转和对分课堂，案例互动和实践考核N+1等。

3) 民办高校立足于培养实践型人才，将陶艺课程与产教融合结合授课，在校企对接，平台共建，资源共享和解决就业等问题，潘梦梅等[4]就艺术设计的专业课程教改，进行了有益的探索和研究。

2024年随着国家整体经济形势企稳向好，企业和高校双方皆有有利条件和较强意识，从多角度针对多问题逐步开展了各专业课程产教融合的深入开发和应用研究：

4) 为了产教融合落实到位，江苏理工学院李丽等[5]在汽车综合实验中结合课程思政，劳动教育和创新创业教育，通过课程内容更新，教学过程改革和质量监控等措施将产教融合落实到课程教学和课程建设的各层次和全过程，培养了学生的实践能力和价值观。

5) 华南农大珠江学院邢璐等[6]将影视专业实训课程作为研究对象，对校企政协同育人，共建实训基地等产教融合教学内容和方法等进行了探索和分析，将理论与实践相连接，全流程(全媒体，全流程，全方向)培养实践人才的创新创作技能。

6) 段淑萍等[7]以计算机专业的产教融合课程优化问题，在课程设置方法，校企联合培养和实训实验等方面研究了产教融合方式，提出了双师双向流动，企业专家师资和有效融合平台的实施建议。

7) 姚雨辰等[8]从产教融合专业课程的质量评估角度出发，提出了多元化，信息收集，分析改进，过程管理和反馈机制等优化路径，在校企信息，资源和技术交流等方面，促进产学研合作，促进师生科研水平及专业能力的提升，同时借助专业课程设置和产业需求内在衔接和深度融合，使教师掌握应用型产

业人才的培养需求及必需的技术要求。

8) 陈道玲等[9]针对服装专业课程设计，从教法和实践两方面分析了产教融合教学方法，包括：线上嘉宾，企业任务和虚拟仿真等，实现了专业与产业，课程与项目，学习与生产互通融合，有力促进对作业 - 作品 - 产品 - 商品的转换体验。

综上所述，针对高校专业课程的产教融合问题，从课程建设，课程改革和课程评价等三个方面进行了深入研究，在课程教学方法，培养模式，实施路径以及评价方式等取得了较丰富的实践经验，为专业课程的产教融合提供了有价值的借鉴意义。

4. 专业课程产教融合问题

高校现有专业课程的产教融合教学过程中，往往存在以下产教融合瓶颈。

4.1. 课程教学重理论而轻实践

课程仍沿用陈旧教材和教学方法，虽然采用了一些现代教学手段如多媒体教室和课件等，但基本脱离不了以注入式、满堂灌为主要特征的课堂讲授方式和现状，仍然以理论教学为主，以课堂教学为主，具体为听讲 + 看书 + 作业，不易发挥学生主动性、独立性、创造性；强调学科知识的结论性和接受性较多，束缚了学生的思维，课堂气氛沉闷，学生动口、动脑实践机会少，难以顾及学生兴趣及个性差异等，如上所述的专业课程教学用于应用型本科学校多数学生身上，教学效果可见一般。

4.2. 课程内容先进性不够

现有可用教材看起来可供选择很多，但绝大部分内容雷同，甚至是大学高职高专教材的翻版。虽然电机设计与应用技术日新月异，但很多近期企业或行业电机实践案例没能加入到教材中来，特别是永磁材料，半导体材料以及电力电子技术的发展推动了超高速电机和超高精度电机的应用，但汽车电机专业课程内容并未根据科技前沿及时更新。

4.3. 产教融合深度尚不足

在应用型人才培养过程中，当前产教融合呈现学校热，企业冷的普遍现象，尤其汽车电机专业课程内容与行业或企业严重脱节和滞后。此外，虽然校企间签署了校企合作协议，但这些合作协议多数流于形式，甚至部分企业出于种种原因不愿意提供先进或闲置设备，不愿意派遣高技能带教指导以供学校培训之用，学生到一些企业实习只能做一些技术含量低的工作，较难学到真正的技术并获得相应的技能培养。

4.4. 教师实践能力严重缺失

特别对于工程类专业，目前专业课教师队伍实践能力不足仍是较为普遍的现象，师资素质参差不齐。现有教师多数理论专业出身，还有部分从其他非专业岗位转岗而来，具备实践能力专业教师很少，皆为学校到学校，缺乏足够理论应用实践的经验。而且自进入教学岗位后，由于教学任务繁重和师生比超标，往往难以保证实践课时，不可避免地出现教学严重脱离实践的现象。

因此，高校专业课程的产教融合成为目前急待解决的问题，一方面充分利用汽车产业技术特别是新能源技术的井喷式发展的时机，切实解决课程教育中存在的以上短板，使得专业课程教学在内容和模式上有变革式提升；另一方面以产教融合为实施路径，把汽车电机产业最新的技术，标准和工艺等资源按照课程要素进行课程化处理，推动课程内容与行业标准、生产流程等产业需求科学对接，构建快速及时响应产业发展需求的实施方案和更新机制。

5. 产教融合解决方案

针对以上问题，本文以车辆专业和新能源汽车(简称新车)专业的汽车电机专业课程为例，重点考虑产教融合实际需求，开展了相应的问题分析，措施实施和效果验证，具体包括：课程建设，课程改革，课程管理，课程强化和课程教学效果考核分析等 5 个方面详细论述。

5.1. 课程目标

基于本文作者汽车行业从业十余年的技术积累，同时借助上海电机学院将原有机械学院转型为临港新片区智能制造产业学院的优势，将汽车产业技术与学校科研深度融合，职业标准与课程目标高度契合，从而推动了产教融合从质到量的改变并展开了一系列深层次的教学改革，首先确立课程目标如下所述：

- 1) 建立机械和电气 Model 模型：理解一款典型永磁同步电机在汽车上工作应用和运行原理基础上，通过 JMAG 软件完成电机本体结构分析和性能指标验证，考虑到启动，加速和制动基本工况下利用 MathCAD 计算电机转速，扭矩，功率和效率等并验证是否满足整车设计目标要求；
- 2) 获取电控硬件 Gerber 文件：掌握一款典型永磁同步电机控制器开发相关硬件知识，通过 Cadence 设计开关供电电路，传感信号处理电路，通讯信号收发电路，过压过载保护电路等。同时，通过 JMAG 和 Cadence 对电控电路进行联合仿真分析和解析调试，完成电控硬件的功能验证和性能分析；
- 3) 研究电控软件 Hex 文件：掌握一款在汽车上典型永磁同步电机控制器开发相关软件知识，学会建立电机电压，电磁转换和扭矩运动方程并能利用电控分析与仿真相关软件(如 Simulink)进行功率和控制算法仿真验证。同时，通过 AutoSAR 和 TC275 等芯片熟悉编写和刷写软件到 PCB 而实现速度电流双闭环控制算法，培养学生组成团队进行电控软件的综合推演，分析和验证能力。

5.2. 课程建设

学校与企业配合完成产教融合课程建设，一方面学校发挥教育人才和创新优势，以开放办学促进人才培养的结构调整和质量提升；另一方面企业积极开展实践教育，对接市场需求和激活创新源头优势，促进人才需求侧融入供给侧。如此开展的具体实施措施，既弥补了学校人才教育短板，又补齐了企业或产业创新的劣势，使人才培养能满足企业对高质量人力的需求，增强核心竞争力。因此，汽车电机课程建设从以下几方面开展：

1) 课程方案：汽车电机车辆课程 32 学时(理论 28 试验 4)和新车课程 32 学时(理论 26 试验 6)，同时两个专业汽车电机课程设计均为 40 课时。如图 1 所示两个专业的先修和后续课程设置，车辆偏重于基础动力系统而新车更突出检测与诊断。课程教学模式采用线上线下混合作为最基本教学模式，将课堂延伸至如图 2(a)线上视频学习与答疑的学习通平台，线下至如图 2(b)所示电机电控小批手工线的工程生产环境，以此探索解决知识和能力培养脱节、理论与工程实践脱节的难题，特别地通过线上线下混合 2 课时课程试验和设计来解决企业授课中时空受限的现实难题而解决产教形式融合。

2) 课程内容：考虑到车辆和新车专业特点，既不能只讲电机设计，也不能只讲电机电控，必须根据汽车专业培养的需要，兼顾电机设计和电机电控内容才能解决电机应用于汽车的教学目标。首先，国内没有专门汽车电机教材，或者电机学，或者电机电控，而没有两者兼顾并适合于汽车应用的中文教材，因此选择了美国 Hendershot 教授的 Design of Brushless Permanent-Magnet Machines 作为主讲教材；其次，辅之以英飞凌 TC275 旋转变压器 24VDC 永磁同步电机和电控系统及相关企业资料作为产教融合企业部分的教学内容；最后，根据合作企业的销售订单，由企业带教和学校教师联合指导学生将学校理论教学与企业生产实践合二为一，并在如图 2(b)所示的电机电控手工线上实现产教部分融合。

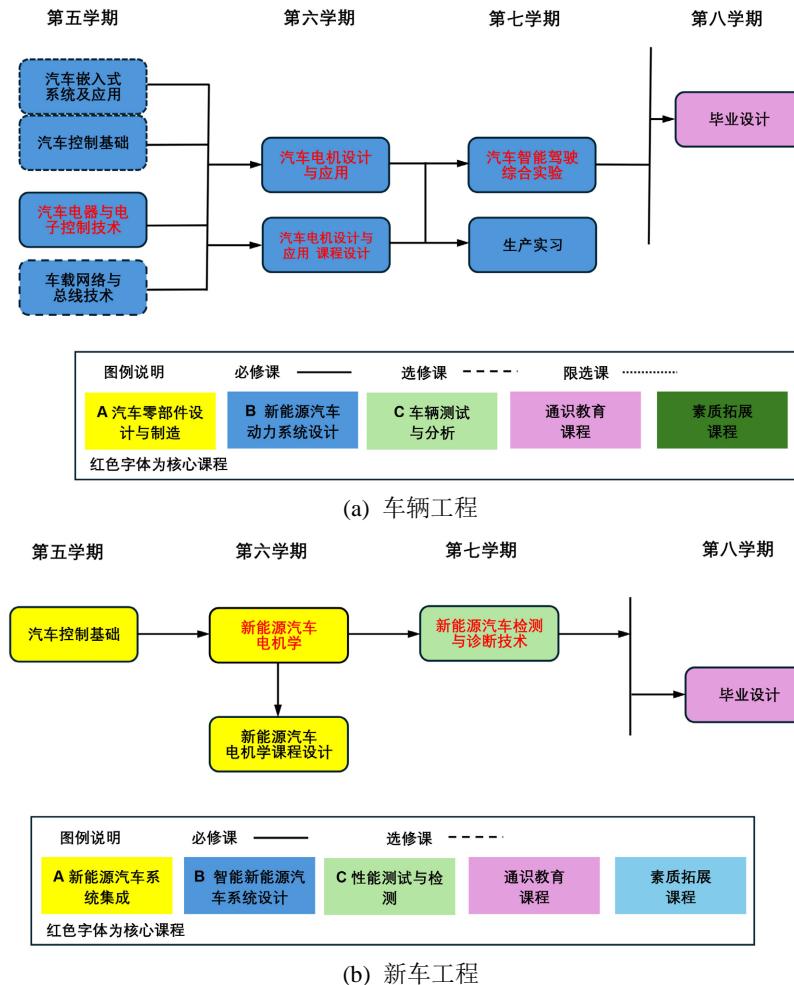
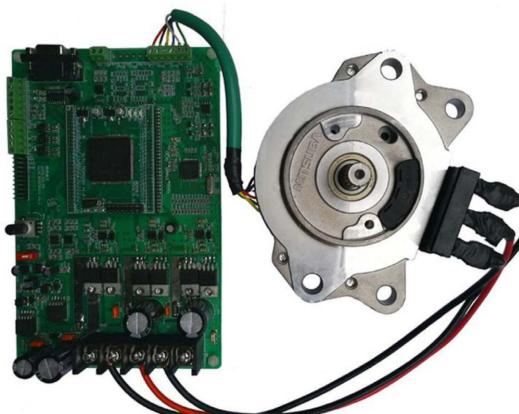


Figure 1. Environment setup for industry-education integration in automotive electric motor courses
图 1. 产教融合汽车电机课程环境设置



Figure 2. Online and offline integrated teaching mode of industry and education
图 2. 线上和线下产教融合教学模式

3) 实践验证：为了使学生理解和掌握汽车电机电控知识，为后期快速适应工程生产流程，特此设定了汽车电机配套的如图 3 所示的课程内试验和课程设计实操环节，实现电机部分：定子，转子，绕组和结构等机械，散热和电气设计和测试，电控部分：功率板，控制板，通讯和软件等软硬件设计和测试，还有最后下线的功能和性能测试工作，完成企业销售订单的同时产教完全融合培养学生的理论分析，设计验证和生产实践等多方面汽车电机综合应用的设计素质和工程实践能力。



(a) 汽车电机电控系统



(b) 汽车电机课内试验和电控课程设计室

Figure 3. Experimental teaching content of online and offline integration of industry and education
图 3. 线上和线下产教融合试验教学内容

5.3. 课程改革

在以上确立的课程目标基础上，从思政，资源，团队，方法和考核等多方面将行企和校企文化深入融合到课程各层次来进行课程改革，对应汽车电机课程融合措施如下：

- 1) 通过课堂案例讲授和现场教学的方式，培养具有正确价值观，具有诚实公正、诚信守则的工程职业道德和规范，理解个人与社会的关系，了解中国国情的大学生；
- 2) 以企业先进技术案例为基础，优化理论课程的内容并实时更新，建立了企业具体电机设计与应用的案例库，提高学生理论学习的效率以及设计能力；
- 3) 建立以专任教师和企业专家组合的授课团队，在加强对专任教师基础理论学习的同时，积极开展团队内部学习讨论，充分利用企业专家对前沿技术的理解，克服专任教师理论与实际应用脱节的缺点，重点提高教学团队的整体实践能力；
- 4) 以实用为原则，以应用为重点，以课堂理论教学为基础，结合企业具体案例，突出对学生的实际应用能力的培养以提高学生就业的竞争力，并为今后的个人职业方面持续发展奠定良好的基础；
- 5) 课程评价以课堂理论学习为基础，兼顾应用性和创新性考核，将学生参与项目、实践订单和小批量操作等多方面内容深度结合在一起对学生进行综合评价；
- 6) 结合企业具体应用，根据课程培养目标，将企业具体电机汽车应用案例分为基础案例与拓展案例，前者可以让学生能够根据基础理论学习完成基础案例设计，掌握具体设计分析流程，而后者可以增加案例的难度，充分挖掘学生的设计能力，作为企业技术研发的储备反哺解决产教融合深度不足的问题。

5.4. 课程管理

- 1) 多主体考核：学生在学校教师和企业带教全过程指导下，从物料采购入库，设计验证送样，焊接

装配测试到客户批量验收全流程，供应商，学校，企业和客户等多主体考核参与下，实现流程产教融合的课程培养目标。



(a) 功率和电控电路板样板贴片机

(b) 电控系统的高低温测试验证试验箱

Figure 4. Prototype SMT and production offline testing bench**图 4.** 手工样件贴片和下线检测产教融合设备

2) 多层次培养：如图 4 所示，从产教融合的每个细节上培养学生对产品设计，送样，测试和生产各层次增加感性认识，加深理论知识用于实践的理解程度，其中图 4(a)是小批量制样的贴片机，图 4(b)是电机和电控的温度和湿度交变试验箱，在图 2(b)所示手工线上完成电机样机制样，电控 PC 焊接和总装装配成品如图 3(a)所示。

3) 多方面综合：全过程采用视频演示和现场指导相结合的方式，如下图 5 所示，从多方面提升学生的专业课程所涉及的综合技能和素质。



(a) 企业带教现场测试指导

(b) 企业带教现场接线指导图

Figure 5. On site guidance for offline testing of industry education integration**图 5.** 产教融合下线测试现场指导

5.5. 课程强化

在以上汽车电机课程的产教融合实施过程中，需要重点强化以下两个重要措施来保证产教融合落实到位：

1) 强化企业重要主体作用，深化引企入教改革。合作企业深度参与汽车电机课程相关的教育教学改革，多种方式参与汽车专业规划，教材开发，教学设计，课程设置和实习实训，促进企业需求融入人才培养环节。坚持推行面向企业真实生产环境的订单或任务式培养模式。课程或专业规划及修正必须有相

关行业企业参与，且企业依托或联合办学，设立产业学院，企业工作室，试验室，创新和实践基地。

2) 推进产教融合人才培养改革，加强产教融合师资队伍建设。合作企业技术和管理人才到学校灵活任教，探索产业教师或导师特设岗位计划。实施符合应用型高校特点的教师资格标准和专业技术职务(职称)评聘办法。高校依法依规自主聘请兼职教师和确定兼职报酬。推动应用型本科高校与大中型企业合作建设双师型教师培养培训基地。完善高校教师实践制度，施行在职教师到企业实践锻炼后才能聘任专任岗位的原则。

5.6. 课程效果

在汽车电机课程产教融合研究成果基础上开展教学，并按照如表 1 所示配置课程目标 1, 2 和 3 的评价依据和成绩比例，针对 2018, 2020~2021 三届本科生开展了汽车电机课程教学效果考核和改进工作。

Table 1. Distribution ratio of achievement of automotive motor course objectives
表 1. 汽车电机课程目标达成度分配比

序号	课程目标	评价依据及成绩比例(%)			成绩比例(%)
		平时 20%	实验 20%	期末考核 60%	
1	目标 1	10%		15%	25%
2	目标 2	10%	10%	15%	35%
3	目标 3		10%	30%	40%
	合计	20%	20%	60%	100%
期末考核形式□		<input type="checkbox"/> 闭卷笔试 <input type="checkbox"/> 开卷笔试 <input type="checkbox"/> 小论文 <input type="checkbox"/> 报告 <input type="checkbox"/> 作品 <input type="checkbox"/> 上机 <input type="checkbox"/> 技能操作 <input type="checkbox"/> 其他(请注明)			

对比验证了产教融合课程方案的教学效果，2018 届未采用产教融合模式而 2020 和 2021 届采用了产教融合模式的课程教学，试验和设计方案，三届本科生目标 1, 2 和 3 达成度考核数据统计如下表 2。

Table 2. Statistical data on the achievement of the objectives of the automotive motor course for undergraduate students from 2018, 2020 to 2021
表 2. 2018, 2020~2021 届本科生汽车电机课程目标达成度统计数据

年份	课程目标 1		课程目标 2		课程目标 3	
	毕业要求 2.1	毕业要求 2.1	毕业要求 1.1	毕业要求 1.1	毕业要求 5.3	毕业要求 5.3
本科 2018	满分分值	8.47 + 11.24	10 + 10 + 15	8.47 + 8.87 + 9.52	10 + 30	8.92 + 13.01
	实际分值	0.79	0.77	0.77	0.55	0.55
本科 2020	满分分值	8.71 + 12.85	10 + 10 + 15	8.4 + 8.47 + 12.35	10 + 30	8.58 + 18.77
	实际分值	0.86	0.83	0.83	0.68	0.68
本科 2021	满分分值	9.77 + 13.48	10 + 10 + 15	8.45 + 8.85 + 12.5	10 + 30	8.55 + 19.48
	实际分值	0.93	0.85	0.85	0.7	0.7

从表 2 中本科 2018, 2020~2021 三届对比数据可以看出：目标 1 达成度变化为：0.79 到 0.86 到 0.93，合计提升了 14 个百分点；目标 2 达成度变化为：0.77 到 0.83 到 0.85，合计提升了 8 个百分点；目标 3 达成度变化为：0.55 到 0.68 到 0.7，合计提升了 15 个百分点，总计平均提升了 12 个百分点以上，可见，在汽车电机课程教学中，所采用的产教融合实践已取得了持续改善的良好课程教学效果。

6. 总结

综上所述，本文结合汽车专业培养特点，以汽车电机课程为主，设计并总结出的汽车电机课程教学，试验和设计方案及考核办法等产教融合实践探索，其构想比较合理，效果良好并实现了高校教学与企业岗位需求之间的快速无缝衔接。主要取得了以下主要成果：

1) 克服了汽车传统学科限制，提出以企业岗位需求为导向，工程能力培养为驱动和校企市产教融合的专业、专技、专能人才培养为理念和机制，面对现代汽车行业关键技术和高水平发展而奠定人才基础，本文研究成果具体为汽车电机课程方案，包括：如图6所示课程教学大纲，如图7所示课程试验和课程设计指导书；

《汽车电机设计与应用》课程教学大纲

一、课程基本信息

课程名称	中文名称：汽车电机设计与应用 英文名称：Automotive Motor Design and Application					
课程代码	023407A1		课程性质		<input checked="" type="checkbox"/> 必修	<input type="checkbox"/> 选修
开课学院	机械学院(临港新片区智能制造产业学院)			课程负责人	刘杰	
课程团队						
授课学期	第六学期			学分/学时	2/32	
课内学时	32	理论学时	26	实验学时	6	实训（含上机）
面向专业	实习					
授课语言	中文					
授课模式	<input checked="" type="checkbox"/> 线下课程 <input type="checkbox"/> 全英语课程 <input type="checkbox"/> 线上线下混合课程 (网站： https://mooc1.chaoxing.com/course/213810377.html) <input type="checkbox"/> 在线开放课程 (课程网站： https://mooc1.chaoxing.com/course/213810377.html)					
对先修的要求及先修课程	本课程要求学生已掌握汽车机械，材料，电气，电子和电控知识，具备电气及其电子控制在汽车上的应用的基本知识和技能，掌握汽车电路设计，电子电控，编程语言和电控仿真及分析等内容。先修课程包含机械设计/制图，机械工程材料，磁场与磁路，电工电子技术，嵌入式系统及应用，汽车控制工程基础，汽车电器与电子控制技术等课程。					
对后续的支撑及后续课程	本课程是“新能源汽车动力系统设计”专业能力模块核心课程，培养学生应用汽车电机设计与应用理论和方法开展汽车电机应用设计和分析能力，培养学生进一步掌握汽车电机应用设计和分析的能力，后续课程包括汽车智能驾驶，生产实习乃至毕业设计等课程。					
课程思政设计	课程思政目标			教学内容	教学方法	
	培养具有正确价值观，理解个人与社会的关系，了解中国国情的大学生。			汽车电机理论发展历史	课堂讲授	
产教融合设计	培养学生理解诚实公正、诚信守则的工程职业道德和规范，并能在工程实践中自觉遵守。			汽车电机设计 课程项目讨论	案例教学	
	培养学生理解工程师对公众的安全、健康和福祉，以及环境保护的社会责任，能够在工程实践中自觉履行。			汽车电控设计 课程项目讨论	案例教学	
产教融合设计	产教融合目标			教学内容	教学方法	
	综合运用跨学科领域理论，培养学生勇于探索未知技术领域的创新能力			燃料电池汽车功率转换设计 (6 学时)	企业专业技术人员到校讲解	

二、课程简介

本课程是“新能源汽车动力系统设计”课程模块中的专业核心课程，以培养应用能力突出、能适应工作变化和具有创新素质的学生为目标，在教学内容上，将理论教学与实践教学有机地结合进行知识点讲解，注重培养学生汽车电机应用设计和综合分析的能力；在教学模式上，采用研讨式的教学模式，注重引导学生对汽车电机设计与应用领域相关的复杂工程问题已有的解决方案进行分析比较，培养学生的问题分析能力；在教学资源上，充分利用线下授课，线上研讨补充以及有针对性的设计实操演示操作，帮助学生深入理解汽车电机设计与应用理论应用。在培养学生熟练掌握汽车电机设计与应用理论，并把其灵活运用于汽车电机的软硬件解决方案的基础上，提升学生的综合能力和解决复杂工程问题能力，为学生成为新一代技术应用型人才奠定基础。

三、课程目标及对毕业要求（及其指标点）的支撑

专业类课程的课程目标及支撑专业的毕业要求及其指标点

序号	课程目标	支撑毕业要求指标点	毕业要求
1	课程目标 1：理解并掌握电机在汽车上的工作应用和运行原理，即电动电控基础理论知识，设计，计算和分析的基本方法，主要包括：电机结构，工作原理，性能分析，启动，加速及制动等内容。	指标点 2.1：能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理，识别和表达车辆工程领域的复杂工程问题。	毕业要求 2：问题分析
2	课程目标 2：掌握典型汽车电机调速（变压和变频）的电控基础知识，并能针对不同应用场合设计合理的电机调速系统，包括：车身及装备用直流电机电压，电流或扭矩等闭环调速，主驱电机高性能变压变频调速，以及永磁同步电机，步进电机和开关磁阻电机调速等。	指标点 1.1：能够将数学、自然科学和专业知识，用于车辆工程领域的复杂工程问题的表述。	毕业要求 1：工程知识
3	课程目标 3：学会利用电机分析与仿真的相关软件(如 JMAG 等)进行电机性能分析和工况模拟；同时掌握建立电机的电压和扭矩平衡方程并能利用电控分析与仿真相关软件（如 JMAG 和 Simulink）进行控制算法和电路器件解析验证，从而培养学生电控硬件和软件的综合推导，分析和验证能力。	指标点 5.3：通过使用设计与仿真分析软件、工具，对复杂车辆工程问题进行预测与模拟，并能够理解其局限性。	毕业要求 5：使用现代工具

Figure 6. Practical achievements of industry education integration in automotive motor course—teaching syllabus
图 6. 汽车电机课程产教融合实践成果——教学大纲

1 永磁同步电机(PMSM)

一、试验目的

- 1、学习 PMSM 试验的基本要求与安全操作注意事项;
- 2、认识 PMSM 试验电机定转子结构以及主要的性能参数和测量办法;
- 3、掌握 PMSM 试验电机的绝缘特性, 内阻和零位的测量方法。

二、试验项目

- 1、了解 PMSM 的定子、转子, 位置传感器和直流供电电源的结构, 参数和工作原理;
- 2、掌握 PMSM 零位表、兆欧表、示波器和多量程万用表的使用方法;
- 3、完成 PMSM 相绕组的绝缘阻值、零位和冷态电阻值测量任务。

三、试验准备

1. 试验对象

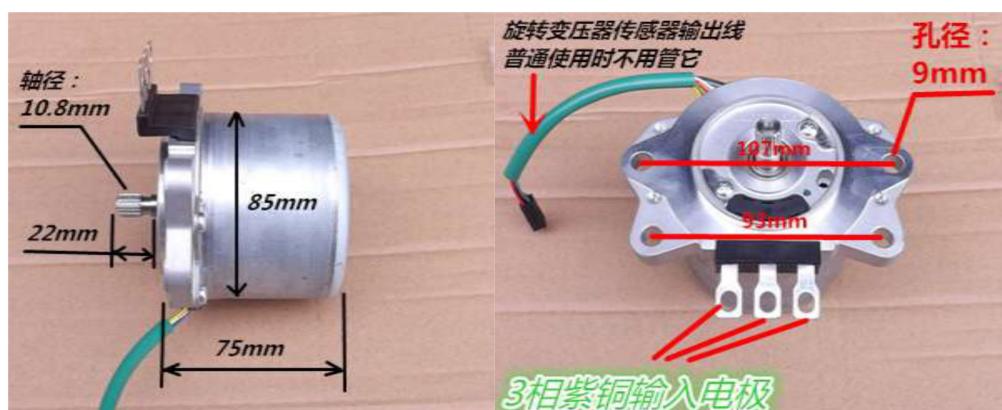
序号	型号	名称	数量	
1	24V100W 3000rpm	旋转变压器+PMSM	3 台	

2. 试验仪器

序号	型号	名称	数量	
1	Uni-T 优利德	兆欧表	3 台	
2	SLDPMPDT	PMDC 电机零位检测仪	3 台	
3	Agilent 安捷伦 U1242B	多量程万用表	3 台	

四、试验说明及操作步骤

1. 由试验指导教师介绍 PMSM 结构特点, 工作原理及电气参数, 讲解电机电气参数的基本测量方法, 安全操作和注意事项。



2、课程设计的课题及要求

本课程设计进行汽车用伺服电机转速控制的控制系统设计及 JMAG 仿真。课程设计的具体课题如下所示：

1) 汽车用 PMSM 的 JMAG 设计及仿真模型的建立

利用 JMAG 设计模块进行 PMSM 模型的建立，并采用相关分析模块进行结构，电，磁，热以及耦合场分析。

要求：建立至少 2 个 PMSM 模型并进行至少 2 个模块对所建电机模型进行分析或仿真，课程设计报告中必需有设计模型和分析或仿真结果图。

2) 编写转速，电流和角度等 3 闭环，FOC-SVPWM 等 2 个 Matlab/Simulink 文件

要求：了解 Idq 控制，FOC 控制以及 PWM 控制方法，建立相应*.mdl 或*.slx 仿真模型文件，并根据仿真结果撰写课程设计报告。

3) 编写启动/制动，正转/反转，组合闭环控制程序等 3 种 Hex 文件

要求：掌握控制板的刷写及通讯工具，刷写验证程序的有效性并撰写课程设计报告。

三、《汽车电机设计与应用》课程设计的步骤与要点

本课程设计各课题的步骤与要点如下所示：

1) 汽车用 PMSM 的 JMAG 设计及仿真模型的建立

步骤一：利用 JMAG 设计模块，采用模板或直接命令方式建立或编辑 PMSM 参数表，定子，转子和外壳模型，赋予材料等参数并加载边界条件，从而转化为可进一步分析的物理模型。

步骤二：使用 JMAG 分析模块对所得物理模型进行耦合分析，磁场和热分析，磁场和结构分析，磁场和热应力分析，热和电场分析，热和结构分析。

步骤三：对分析结果进行整理和分析，撰写课程设计报告。

要点：此电机模型用于验证电机本体设计的有效性，要设计合理正确，*.jpr 分析模型能正常运行。

2) 编写转速，电流和角度等 3 闭环，FOC-SVPWM 等 2 个 Matlab/Simulink 文件

步骤一：理解 PMSM 数学模型并用于电控控制系统设计。

步骤二：设计转速，电流和角度等 3 闭环，FOC-SVPWM 等 2 个 Matlab/Simulink 模型。

步骤三：运行 Matlab/Simulink 模型并进行仿真。

要点：此仿真模型用于验证 PMSM 电控设计的有效性，要设计合理正确，*.mdl 或*.slx 仿真模型能正常运行。

3) 编写启动/制动，正转/反转，组合闭环控制程序等 3 种 Hex 文件

步骤一：理解 6 个旋变 PMSM 的 6 种模式控制方法并用于电控控制系统设计。

步骤二：设计启动/制动，正转/反转，组合闭环控制程序等 3 个 Hex 文件。

步骤三：刷写并验证所编文件验证程序的有效性。

要点：此程序用于验证电控软件设计的有效性，要设计合理正确，*.hex 程序控制能正常运行。

四、课程设计报告的要求

1、课程设计报告的结构

由以下几部分组成：

- 1) 课程设计报告的标题
- 2) 课程设计目的与意义
- 3) 课程设计的内容简介
- 4) 课程设计的具体内容及相关的原理和各种图表
- 5) 总结
- 6) 参考文献

Figure 7. Practical results of the integration of industry and education in the automotive motor course—practical guideline
图 7. 汽车电机课程产教融合实践成果——实践指导书

- 2) 充分发挥在校教师专业理论强,企业工程师实践能力强的优势互补,建立了校企双导师培养机制,依托工程专业能力提升的课程试验和课程设计等实践项目,以面对汽车行业最新技术与高薪人才需求深入融合的产教培养机制为核心,对学生的工程实践能力的提升具有重要意义,具体在如图 2(b)所示手工线场地中,师生共同完成了市场客户端订单全过程,参与学生得到了理论专业知识,工程实践技能和质量管理能力等多方面的切实提升效果;
- 3) 通过校企间产教融合的全程案例的融合学习,使学生了解企业对人才技能的具体详细要求,感性认识了汽车行业技术发展的最新趋势,对于激发学生的能动性,提高学生的专业学习兴趣,为培养高素质应用型人才起到了积极推动作用,从表 2 中学情数据可看出:通过参与产教融合课程学习后,具备了快速适应企业岗位,迅速为企业创造价值的能力。

基金项目

项目等级: 上海电机学院 - 校级产教融合型课程, 项目名称: 汽车电机设计与应用, 项目编号: A1-5101-23-003-04-151。

参考文献

- [1] 张秀梅. 产教融合背景下高校电子商务专业课程建设思考[J]. 中国科技期刊数据库科研, 2022(8): 12-15.
- [2] 曾宪桃, 任振华. 地方高校土木工程专业产教融合应用型课程改革与实践[J]. 高教学刊, 2019(16): 144-146.
- [3] 郑久良. 基于产教融合的应用型本科高校传媒专业课程教学改革研究——以常州工学院调查报道课程为例[J]. 传播与版权, 2022(12): 105-108.
- [4] 潘梦梅, 赖伟成, 熊瑛子. 产教融合背景下民办高校艺术设计专业陶艺课程教学的改革研究[J]. 陶瓷研究, 2022, 37(6): 91-93.
- [5] 李丽, 丁家恬, 韩冰源, 等. 产教融合背景下高校专业课程的改革与探索——以《新能源汽车综合实验》课程为例[J]. 时代汽车, 2024(12): 97-99.
- [6] 邢璐, 李伯绅. 民办高校影视专业产教融合实训课程模式探究——以华南农业大学珠江学院影视摄影与制作专业实训课程群为例[J]. 西部广播电视, 2024, 45(8): 111-114.
- [7] 段淑萍, 刘彩萍, 葛倩, 等. 转型背景下高校计算机专业产教融合及课程优化的方法[J]. 科技风, 2024(10): 23-25.
- [8] 姚雨辰, 杨红, 吉颖. 应用型本科高校专业课程教学质量评估优化路径研究——产教融合背景下[J]. 现代商贸工业, 2024, 45(15): 97-99.
- [9] 陈道玲, 程朋朋. 产教融合背景下高校服装专业综合设计课程教学方法改革与实践[J]. 福建轻纺, 2024(10): 69-71.