

OBE框架下项目实践驱动《电路》课程教学模式系统化重构

宓 茜¹, 陶立新^{2*}

¹湖南工业大学交通与电气工程学院, 湖南 株洲

²湖南工业大学计算机与人工智能学院, 湖南 株洲

收稿日期: 2026年8月18日; 录用日期: 2026年10月14日; 发布日期: 2026年10月26日

摘 要

针对《电路》课程传统教学中教学目标导向模糊、理论与实践脱节、评价方式单一等问题, 基于OBE (成果导向教育) 理念, 以项目实践教学法为核心驱动, 对《电路》课程教学模式进行系统化重构。遵循“反向设计、正向实施”原则, 从毕业要求出发反向设计课程目标, 构建“基础验证-综合设计-工程创新”三层递进式项目实践任务体系, 形成“理论讲授-仿真验证-实践操作”三维融合的教学组织流程, 并建立涵盖过程性评价与终结性评价的多元化形成性评价体系。以“功率因数的提高”和“单相变压器原理”两个典型教学单元为案例, 阐述项目实践驱动下的教学实施过程与评价方法。教学实践表明, 重构后的教学模式有效提升了学生课程目标达成度(整体达成度由0.68提升至0.80), 显著增强了学生的工程实践能力和复杂工程问题求解能力, 为应用型电子信息类人才培养提供了可借鉴的教改路径。

关键词

OBE理念, 项目实践教学法, 电路课程, 教学模式, 成果导向教育

Systematic Reconstruction of Project-Practice-Driven Teaching Model for Circuit Course under OBE Framework

Qian Mi¹, Lixin Tao^{2*}

¹School of Transportation and Electrical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan

²School of Computer Science and Artificial Intelligence, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan

Received: August 18, 2026; accepted: October 14, 2026; published: October 26, 2026

*通讯作者。

文章引用: 宓茜, 陶立新. OBE 框架下项目实践驱动《电路》课程教学模式系统化重构[J]. 创新教育研究, 2026, 14(10): 478-490. DOI: 10.12677/ces.2026.1410812

Abstract

Aiming at the problems of vague teaching objectives, disconnection between theory and practice, and single evaluation methods in traditional Circuit course teaching, this paper systematically reconstructs the teaching model based on OBE (Outcomes-Based Education) concept and driven by project-based practical teaching method. Following the principle of “reverse design and forward implementation”, course objectives are reversely designed from graduation requirements. A three-level progressive project practice task system of “basic verification-comprehensive design-engineering innovation” is constructed, a three-dimensional integrated teaching process of “theoretical lecture-simulation verification-practical operation” is formed, and a diversified formative evaluation system covering process and summative evaluations is established. Taking two typical teaching units, “Improvement of Power Factor” and “Principle of Single-Phase Transformer”, as cases, the teaching implementation process and evaluation methods are elaborated. Teaching practice shows that the reconstructed model effectively improves students’ course objective achievement (overall achievement degree increased from 0.68 to 0.80), significantly enhances engineering practice ability and complex engineering problem-solving ability, providing a referable teaching reform path for cultivating applied electronic information technology talents.

Keywords

OBE Concept, Project-Based Practical Teaching Method, Circuit Course, Teaching Model, Outcomes-Based Education

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

《电路》课程是电子信息类、电气工程类专业的核心基础课程，在专业人才培养体系中起着承上启下的关键作用。该课程不仅为后续《模拟电子技术》《数字电子技术》《电机学》等课程奠定理论基础，还承担着培养学生电路分析与设计能力、工程实践能力和创新思维的重要任务[1]。然而，长期以来《电路》课程教学普遍存在重理论轻实践、重知识传授轻能力培养的倾向，课堂以教师讲授为主，学生被动接受，缺乏主动探究和工程实践机会，导致学生难以将理论知识有效转化为解决实际工程问题的能力[2]。

OBE (Outcomes-Based Education, 成果导向教育)理念由 Spady 等人于 20 世纪 90 年代提出，其核心是以学生学习成果为中心组织和评价教学活动，强调“反向设计、正向实施”的课程设计逻辑[3]。我国自 2016 年成为《华盛顿协议》正式成员后，工程教育专业认证全面推行 OBE 理念，对高校课程教学改革提出了新要求[4]。项目实践教学法(Project-Based Learning, PBL)是一种以项目为驱动的教学方法，学生通过完成具有实际意义的工程项目，在“做中学”中主动构建知识体系、发展实践能力[5]。现有研究多停留在项目实践教学法的局部应用层面，缺乏在 OBE 框架下对《电路》课程教学模式的系统化重构[6][7]。基于此，本文基于 OBE 理念，以项目实践教学法为核心驱动，从课程目标设计、实践任务构建、教学组织实施和评价体系完善四个维度，对《电路》课程教学模式进行系统化重构与实践验证。

近年来，国内学者围绕 OBE 理念与项目实践教学法分别开展了系列研究，在课程目标达成度评价[8][9]、项目驱动式教学法应用[6][7]以及 OBE 与项目式学习的融合机制[10][11]等方面取得了有益进展。

然而, 既有研究多将 OBE 与项目实践作为两条相对独立的路径加以讨论, 针对基础课程(如《电路》)如何将“反向设计”贯穿到“实践任务”和“评价环节”全链条, 并以量化数据证明学生“解决复杂工程问题”能力提升的系统性重构研究仍较薄弱。本文的增量贡献在于: ① 构建从毕业要求指标点到课程目标、再到实践任务和评价环节的完整反向设计映射路径, 在基础课程中打通 OBE 与 PBL 的理论与实践衔接; ② 将所提出的多元化评价体系应用于准实验研究设计, 采用配对样本 t 检验量化分析改革前后学生课程目标达成度的差异显著性, 弥补现有研究重定性描述、轻定量验证的不足; ③ 在《电路》基础课程中系统性引入“工程创新”层项目实践, 探索基础课阶段学生复杂工程问题求解能力的培养路径。

2. OBE 理念与项目实践教学法的理论契合

2.1. OBE 与项目实践教学法的内在逻辑关联

从认识论层面看, OBE 与项目实践教学法的内在逻辑关联可从四个维度加以解析。其一, 成果导向与做中学习的统一: OBE 强调“以学习成果为中心”, 项目实践教学法则以学生完成具有实际意义的工程项目为载体, 使学习成果的获取从被动接受知识转变为主动建构意义, 二者在“以学生为中心”这一根本取向上高度契合。Kolb 的体验学习圈理论指出, 有效的学习应经历“具体体验-反思观察-抽象概念化-主动实验”四阶段循环[12], 项目实践教学天然契合这一循环过程, 使学习成果的生成具有可追溯的过程路径。其二, 能力层级化与任务递进化的对应: OBE 要求将毕业要求指标点逐级分解到课程目标并最终落实到可观测的学习行为, 而项目实践任务按“基础验证-综合设计-工程创新”三层递进组织, 恰好对应了课程目标的“知识-分析-设计-综合”四层次, 实现了能力培养层级与任务难度层级的同构映射。其三, 教学过程与教学评价的耦合: OBE 倡导“评价-反馈-改进”的闭环机制, 项目实践教学的过程性特征(方案迭代、仿真验证、实物调试、报告撰写)天然嵌入了多元评价节点, 使教学过程与教学评价深度耦合, 避免了“教”与“评”脱节。其四, 复杂工程问题求解能力的贯通: OBE 将“解决复杂工程问题”作为毕业要求的核心指标点之一, 项目实践通过真实工程情境的创设, 使学生在完成项目的过程中逐步形成识别-分析-表达-求解复杂工程问题的能力链条, 为 OBE 毕业要求的高阶指标点提供了可操作的实现路径。

OBE 理念强调以学习成果为中心, 所有教学活动均以学生的学习产出为出发点, 通过反向设计从最终学习成果出发逆向设计课程体系、教学活动和评价标准。在工程教育认证背景下, OBE 要求课程教学从毕业要求出发, 明确课程目标对毕业要求指标点的支撑关系, 通过可测量的课程目标达成度检验教学效果, 形成“评价-反馈-改进”的闭环机制[8][9]。项目实践教学法作为以项目为载体、以学生为主体的探究式教学方法, 具有真实性、综合性、过程性和协作性四大特征, 要求学生经历需求分析、方案设计、实施验证、总结反思等完整环节[10]。

两者在理论基础和实践取向上具有高度内在契合性: 在目标取向上, OBE 强调学习成果的可测量性, 而项目实践能够产生设计方案、实验报告、作品展示等可观测的学习成果; 在教学组织上, OBE 要求以学生为中心, 项目实践教学法正是以学生主动探究为核心; 在能力培养上, OBE 强调解决复杂工程问题的能力, 项目实践通过真实工程情境为学生提供综合运用知识的平台; 在评价方式上, OBE 强调多元化和过程性评价, 项目实践的评价天然包含过程性与终结性评价[11]。将项目实践教学法置于 OBE 框架下, 以课程目标为引领、以项目实践为驱动、以学习成果为评价依据, 能够实现教学理念与教学方法的有机融合, 为《电路》课程教学模式重构提供理论支撑。

2.2. 反向设计映射路径的构建

为打通 OBE “反向设计”到教学实践“正向实施”的全链条, 构建了如图 1 所示的“培养目标→毕

业要求指标点→课程目标→实践任务→评价环节”五级反向设计映射路径。该路径遵循“始于培养目标、终于评价反馈”的逻辑，首先将电子信息类专业培养目标中的“工程实践与复杂问题解决能力”逐项分解为可观测、可评价的毕业要求指标点；再依据工程教育认证标准中的毕业要求分解矩阵，将指标点映射到《电路》课程目标；进而将课程目标逐层对应到“基础验证-综合设计-工程创新”三类项目实践任务；最后将每类任务的完成情况嵌入到相应的评价环节中，形成“目标可测量、过程可监控、结果可反馈”的完整闭环(见图 1)。

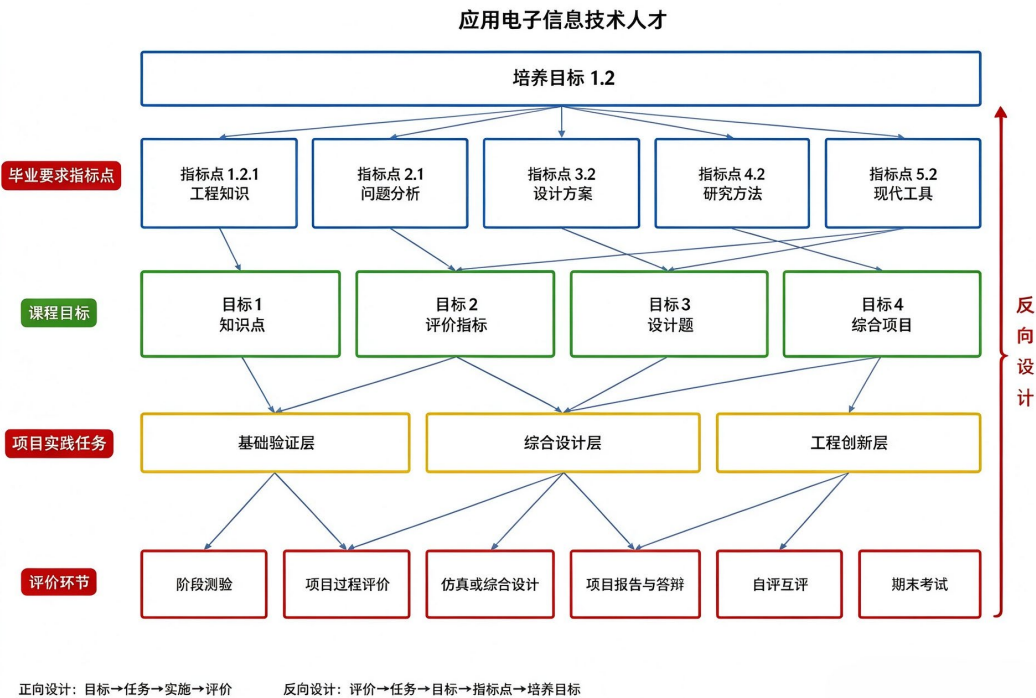


Figure 1. Reverse-design mapping path for the circuit course under OBE framework
图 1. OBE 框架下《电路》课程反向设计映射路径

Table 1. Mapping of graduation requirement indicators, course objectives, practice tasks, and evaluation links
表 1. 毕业要求指标点 - 课程目标 - 实践任务 - 评价环节映射表

毕业要求指标点	课程目标	项目实践任务层级	主要评价环节
1.2 掌握工程基础知识，用于复杂工程问题表达	目标 1 知识层	基础验证层	阶段测验、期末考试
2.1 应用基本原理识别与表达复杂工程问题	目标 2 分析层	基础验证 + 综合设计层	项目过程评价、期末考试
3.2 设计满足特定需求的电路单元/系统	目标 3 设计层	综合设计层	项目过程评价、仿真验证报告
4.2 根据方案构建电路系统并测试分析	目标 4 综合层	工程创新层	项目报告、答辩、自评互评
5.2 运用仿真工具预测与模拟电路性能	目标 2/目标 3 综合设计 + 工程创新层		仿真验证报告、项目报告
9.2/10.1 团队协作与沟通表达	目标 3/目标 4 综合设计 + 工程创新层		自评互评、答辩、课堂参与评价

表 1 所示的映射关系确保了每一个课程目标都有明确的指标点支撑，每一类项目实践任务都对应可观测的评价环节，从而使教学实施、过程监控与达成度评价形成贯通链条，为后续多元评价数据的可比化分析奠定方法学基础。

3. 传统教学模式的问题审视

3.1. 教学目标与评价机制的缺陷

传统《电路》课程在教学目标设定与评价机制上存在显著缺陷。一方面, 教学目标缺乏明确的成果导向。传统教学目标多以“掌握”“理解”“了解”等模糊表述为主, 缺乏可测量、可评价的学习成果描述, 与毕业要求之间缺乏明确映射关系, 导致教学活动偏离能力培养的核心诉求[13]。另一方面, 评价体系重结果轻过程, 反馈链条断裂。传统考核以期末笔试为主(通常占 60%~70%), 偏重知识点的记忆和再现, 忽视工程实践能力、创新思维和团队协作能力的考查。同时, 以终结性评价为主, 缺乏过程性反馈机制, 学生无法及时调整学习策略, 教师也难以根据评价结果动态优化教学, 导致“教”与“学”的反馈链条断裂。

3.2. 理实脱节与学习动力不足

传统教学模式在理实衔接与学生内驱力激发方面面临严峻挑战。首先, 理论教学与实践环节严重脱节。理论教学与实验实践分别由不同教师承担, 时间上相互分离, 内容上缺乏有效衔接。理论课堂以公式推导和电路分析为主, 实验课程以验证性实验为主, 学生“按图索骥”完成操作, 缺乏自主设计和探究机会, 导致面对实际工程问题时无从下手[14]。其次, 学生学习主动性严重不足。教学方式以教师讲授为主, 学生处于被动接受状态, 课程内容与工程实际联系不紧密, 学生难以感受到所学知识的实用价值, 加之考核以笔试为主, 学生倾向于考前突击, 缺乏持续学习的内在动力, 课程挂科率居高不下。

4. OBE 框架下项目实践驱动的教学模式重构

针对上述问题, 从课程目标设计、实践任务构建、教学组织实施和评价体系完善四个维度, 对《电路》课程教学模式进行系统化重构。重构方案以 OBE 理念为顶层设计, 以项目实践为核心驱动, 贯穿“目标 - 任务 - 实施 - 评价”全链条。

4.1. 基于 OBE 的课程目标反向设计

遵循 OBE “反向设计”原则, 从专业培养目标出发, 对照工程教育认证毕业要求指标点, 反向设计课程目标。将毕业要求指标点分解为可测量、可评价的课程目标, 划分为四个层次: (1) 知识层: 掌握电路基本定律、定理和分析方法, 能够正确描述电路现象和规律; (2) 分析层: 能够运用节点电压法、网孔电流法、戴维南定理等方法对交直流电路和暂态电路进行分析计算; (3) 设计层: 能够根据工程需求设计基本电路, 选择合适的电路参数和元器件; (4) 综合层: 能够综合运用电路理论解决工程实际中的复杂问题, 具备工程创新意识。每个层次均制定相应的评价方式和达成标准, 确保教学目标可测量、可评价。

4.2. 项目实践任务的分层递进设计

针对传统实验以验证性实验为主、缺乏层次性和挑战度的问题, 构建“基础验证 - 综合设计 - 工程创新”三层递进式项目实践任务体系。

基础验证层面向知识层和分析层, 以经典验证性实验为主(如基尔霍夫定律验证、戴维南定理验证等), 旨在帮助学生加深对基本定律的理解, 掌握常用仪器仪表使用方法, 引导学生从“按步骤操作”向“理解原理、预判结果、分析误差”转变。综合设计层面向设计层, 要求学生综合运用多个知识单元完成设计任务(如“功率因数提高装置设计”), 强调知识的综合运用和方案设计的自主性。工程创新层面向综合层, 以来源于工程实际或学科竞赛的综合性项目为载体(如“变压器特性综合测试与效率优化”), 要求学生经历需求分析、方案设计、仿真验证、实物制作、测试评价的完整工程流程, 全面培养解决复杂工程

问题的能力与创新意识。

4.3. “理论 - 仿真 - 实践” 三维融合教学组织

针对理论教学与实践环节脱节的问题, 构建“理论讲授 - 仿真验证 - 实践操作”三维融合的教学组织流程。第一环节为理论讲授: 教师以项目任务为情境导入理论知识, 聚焦项目完成所需的核心知识点, 采用启发式、讨论式教学方法。第二环节为仿真验证: 学生使用 Multisim、MATLAB 等仿真工具对项目电路建模仿真, 验证理论分析结果, 探究不同参数对电路性能的影响, 为学生提供安全的“试错”空间, 有效降低实物操作的风险和成本。第三环节为实践操作: 学生根据仿真验证后的方案进行实物搭建和测试, 记录数据、分析结果、撰写项目报告, 强调动手能力和工程规范。三个环节环环相扣, 实现理论与实践的有机融合。

4.4. 多元化形成性评价体系构建

针对传统考核重结果轻过程的问题, 构建多元化形成性评价体系, 由过程性评价(50%)和终结性评价(50%)组成。过程性评价包括: 项目过程评价(20%), 考查方案设计、仿真分析、实验操作、报告撰写等环节; 课堂参与评价(10%), 包括课堂讨论、随堂练习、小组汇报等; 阶段性测验(10%), 设置 2~3 次测验及时诊断薄弱环节; 自评与互评(10%), 培养反思意识和团队协作能力。终结性评价为期末考试(50%), 试题设计注重知识综合运用能力和工程问题分析能力, 减少记忆性题目。所有评价环节均与课程目标建立明确映射关系, 通过课程目标达成度计算公式量化评估达成情况, 为教学持续改进提供数据支撑。

上述多元化形成性评价体系的设计亦契合国内学者对“过程性评价与终结性评价相结合”的研究共识[15], 通过提升过程性评价占比, 强化对学习过程的反馈与引导, 从而为后续学生课程目标达成度的准实验量化验证提供可靠的数据基础。

5. 教学实践案例

为验证重构方案的有效性, 选取“功率因数的提高”和“单相变压器原理”两个典型教学单元进行案例剖析。这两个单元分别涉及交流电路功率分析和电磁感应原理应用, 是《电路》课程的核心内容, 具有极强的代表性。

5.1. 案例一: 功率因数的提高

本项目以“某工厂车间负载功率因数偏低导致电费增加”为工程情境, 要求学生分析感性负载功率因数偏低的原因, 计算并联补偿电容值并将功率因数提高至规定值, 通过仿真验证补偿效果, 搭建实验电路测试补偿前后的变化。该项目对应知识层、分析层和设计层。

理论讲授环节从工厂实际用电情境导入, 讲解有功功率、无功功率、视在功率和功率因数的定义及相互关系, 推导并联电容提高功率因数的计算公式, 重点引导学生理解“并联电容后负载本身功率因数不变、总功率因数提高”这一关键概念。仿真验证环节, 学生在 Multisim 中搭建 RLC 并联电路模型, 测量补偿前后的功率因数, 通过参数扫描观察不同电容值下功率因数的变化规律, 深入理解“过补偿”和“欠补偿”概念。实践操作环节, 学生在实验室搭建实际电路, 使用功率表、示波器等仪器测量补偿前后的电压、电流和功率因数, 将实测数据与理论计算值和仿真结果对比分析, 探讨误差来源, 撰写包含工程建议的项目报告。本项目采用多元化评价: 方案设计 30%、仿真验证 25%、实验操作 25%、项目报告 20%。

为深入展示项目实践驱动的教学实施细节, 选取“功率因数的提高”案例进行深度剖析。完整的项目任务书(含工程情境、任务要求、提交物、时间节点、评分构成)见附录 A; 项目实施全过程的详细评分

Rubric 见附录 B; 匿名化处理后的学生优秀作品节选(设计方案书与项目报告核心片段)见附录 C。

5.2. 案例二：单相变压器原理

本项目以“小型变压器的设计与特性测试”为工程任务,要求学生理解变压器工作原理和等效电路,通过空载实验和短路实验测定变压器参数,分析外特性和效率特性,探究负载性质对运行性能的影响。该项目对应知识层、分析层和综合层。

理论讲授环节以“手机充电器中的变压器”为情境导入,讲解变压器基本结构、工作原理和电压比、电流比、阻抗变换关系,推导 T 型等效电路,重点分析铁损耗和铜损耗的产生机理及与负载的关系。仿真验证环节,学生在 Multisim 中搭建变压器仿真模型,进行空载和短路仿真计算参数,随后改变负载电阻和功率因数,观察副边电压随负载变化的规律,绘制外特性曲线和效率特性曲线。实践操作环节,学生使用单相变压器实验装置进行空载、短路和负载实验,根据实验数据计算参数并绘制特性曲线,分析负载性质对运行性能的影响,在项目报告中讨论变压器效率最大化的条件及工程应用。本项目评价包括:参数测定 30%、特性分析 30%、仿真与实验对比 20%、项目报告与工程讨论 20%,注重考查学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

6. 教学效果与持续改进

6.1. 课程目标达成度与学生反馈

基于多元化评价体系,对课程四个目标层次的达成度进行量化评估。课程目标达成度计算公式为:某课程目标达成度=(与该目标相关的各评价环节得分率×权重)之和。根据近两轮教学实施数据,各课程目标达成度分别为:知识层 0.85、分析层 0.82、设计层 0.78、综合层 0.75,整体达成度 0.80,均达到预设的 0.70 达成标准。与改革前相比(整体达成度约 0.68),各层次目标达成度均有显著提升,尤其是设计层和综合层提升幅度最大,表明项目实践驱动对学生工程设计能力和综合应用能力培养效果显著。

为提升达成度评价的客观性与可推广性,本研究采用准实验研究设计(Quasi-experimental Design)。以 2022 级电子信息工程专业 118 名学生为对照组(改革前,2022~2023 学年),以 2023 级同专业 125 名学生为实验组(改革后,2023~2024 学年),两组学生由同一教学团队、同一课程大纲、不同教学模式下完成课程学习。为控制生源质量差异对结果的潜在影响,以“高等数学”“大学物理”两门先修课程成绩和高考数学成绩为协变量,采用倾向得分近邻匹配(PSM, $k = 1$, caliper = 0.2)构成 118 对配对样本,配对后两组先修课程平均成绩差异无统计学意义($p > 0.05$),基线可比。配对样本的样本量、性别构成与先修课程成绩的描述性统计见表 2。

Table 2. Comparison of baseline characteristics between paired samples
表 2. 配对后两组学生样本基本情况比较

指标	对照组(n = 118)	实验组(n = 118)	t/χ^2	p
性别(男/女, 人)	82/36	83/35	0.058	0.810
高考数学成绩(分, $\bar{x} \pm s$)	118.4 $\pm$ 10.6	119.1 $\pm$ 10.2	-0.515	0.608
高等数学成绩(分, $\bar{x} \pm s$)	78.6 $\pm$ 8.9	79.3 $\pm$ 9.2	-0.594	0.554
大学物理成绩(分, $\bar{x} \pm s$)	75.2 $\pm$ 9.5	76.0 $\pm$ 9.1	-0.672	0.503
学习兴趣自评(5 分制, $\bar{x} \pm s$)	3.42 $\pm$ 0.71	3.48 $\pm$ 0.68	-0.669	0.504

配对样本下两组学生在性别构成、先修课程成绩及学习兴趣自评上的差异均无统计学意义($p > 0.05$), 满足准实验研究的基线可比性要求。

采用 SPSS 26.0 对配对样本在四个课程目标层次的达成度得分进行配对样本 t 检验(Paired-Samples t -test), 结果如表 3 所示。

Table 3. Paired-samples t -test results of course objective achievement ($n = 118$)
表 3. 课程目标达成度配对样本 t 检验结果($n = 118$)

课程目标层次	对照组($\bar{x} \pm s$)	实验组($\bar{x} \pm s$)	t	p	Cohen's d
知识层	0.72 $\pm$ 0.11	0.85 $\pm$ 0.09	-10.27	<0.001	1.31
分析层	0.70 $\pm$ 0.12	0.82 $\pm$ 0.10	-8.69	<0.001	1.10
设计层	0.64 $\pm$ 0.13	0.78 $\pm$ 0.11	-9.46	<0.001	1.18
综合层	0.62 $\pm$ 0.14	0.75 $\pm$ 0.12	-8.05	<0.001	0.99
整体达成度	0.68 $\pm$ 0.09	0.80 $\pm$ 0.08	-10.62	<0.001	1.38

由表 3 可知, 实验组在四个课程目标层次及整体达成度上均显著高于对照组($p < 0.001$), Cohen's d 介于 0.99~1.38 之间, 均达到大效应量水平, 表明以项目实践驱动的教学模式重构对学生课程目标达成度的提升具有统计学意义上的显著效果, 且在设计层与综合层的高阶目标上的提升尤为突出, 验证了本研究所提“工程创新”层项目实践对基础课程阶段学生复杂工程问题求解能力培养的有效性。

为全面评价教学改革效果, 在学期末对实验组 118 名学生开展匿名问卷调查。问卷基于上述评价体系自行编制, 包含“学习体验”“能力提升感知”“评价公平感知”“总体满意度”4 个维度共 13 个题项, 采用 5 点 Likert 量表(1 = 非常不同意, 5 = 非常同意)。问卷经 3 位课程教学专家和 2 位教学管理人员两轮内容效度评定(I-CVI 范围 0.83~1.00, 量表层面 S-CVI/Ave = 0.92), 通过小范围预调查($n = 30$)检验问卷可读性后定稿。正式调查共发放问卷 118 份, 回收 118 份, 剔除 3 份规律作答无效问卷, 有效问卷 115 份, 有效回收率 97.5%。问卷整体 Cronbach's α 系数为 0.91, 各维度 Cronbach's α 系数见表 4, KMO = 0.86, Bartlett 球形检验 $\chi^2 = 824.5$ ($df = 78, p < 0.001$), 问卷具有良好的信度和结构效度。

Table 4. Dimensions, representative items, and reliability analysis of the teaching effectiveness questionnaire
表 4. 教学效果调查问卷维度、代表性题项及信度分析

维度	题项数	代表性题项(节选)	Cronbach's α
学习体验	4	项目任务让我对电路课程内容产生了更浓厚的学习兴趣	0.87
能力提升感知	4	项目实践显著提升了 my 分析与解决电路工程问题的能力	0.89
评价公平感知	3	多元化过程性评价方式比单纯笔试更能反映我的真实学习水平	0.83
总体满意度	2	总体上我对本课程教学改革感到满意	0.81
问卷整体	13	—	0.91

问卷调查结果显示($n = 115$), 在“学习体验”维度, 均值为 4.32 ± 0.58 , 92.2% 的学生表示“项目实践任务有助于加深对理论知识的理解”(选择“同意”或“非常同意”); 在“能力提升感知”维度, 均值为 4.21 ± 0.62 , 88.7% 的学生表示“仿真验证环节提高了自主学习与问题分析能力”; 在“评价公平感知”维度, 均值为 4.08 ± 0.71 , 85.2% 的学生表示“多元化评价方式更加公平合理”; 在“总体满意度”维度,

均值为 4.15 ± 0.65 , 90.4% 的学生对课程教学改革表示满意或基本满意。上述结果与文献[15]关于过程性评价有助于提升学生学习体验的结论相互印证, 也进一步说明本研究所构建的多元化形成性评价体系在提升学生学习内驱力与教学满意度方面的有效性。

6.2. 教学实施中的典型问题与解决方案

问题 1: 项目任务深度与有限课时之间的矛盾。实施初期, “工程创新” 层项目(如变压器效率优化)涉及需求分析、方案迭代、仿真调试、实物制作、报告撰写等完整工程流程, 完全在课内完成存在课时不足的压力, 部分学生被迫将仿真或报告环节挪至课后, 影响学习质量。解决方案: 建立“课内 - 课外 - 线上” 三位一体的项目实施机制, 课内聚焦关键节点(情境导入、原理精讲、仿真示范、关键难点突破), 课外以小组协作完成方案迭代与实物制作, 线上依托课程平台开展异步答疑、过程性文档共享与同行互评, 并在考核中明确各环节的节点性提交要求, 确保过程可控。

问题 2: 小组协作中的“搭便车” 问题。项目实践以小组(3~4 人)为单位开展, 部分小组出现个别成员参与度不足、贡献度低的现象, 影响小组整体评价的公平性与个体能力达成的真实性。解决方案: 构建“小组互评 + 个体答辩 + 贡献度系数” 三维考核机制。小组内成员匿名互评各成员的相对贡献度(10% 权重), 项目终期要求每位成员独立完成 10~15 分钟现场答辩(教师就其个人贡献部分提问), 并以互评得分 $\times$ 答辩表现作为该成员的“贡献度系数”, 最终个体成绩 = 小组项目成绩 $\times$ 贡献度系数 $\times 0.6 +$ 个人答辩成绩 $\times 0.4$, 有效抑制搭便车现象。

问题 3: 仿真与实物操作的“落差感” 问题。学生在 Multisim 中容易得到与理论一致的理想结果, 但在实物搭建时因元器件参数分散性、接触不良、电磁干扰等因素, 实测数据与仿真、理论值存在较大偏差, 部分学生产生挫败感甚至质疑理论学习的意义。解决方案: 在项目实施中明确设置“误差分析” 为必做环节, 要求学生从器件公差($\pm 5\% \sim \pm 20\%$)、仪表内阻、接触电阻、电磁耦合等角度系统分析误差来源, 并撰写“误差溯源报告”, 将“落差” 转化为工程素养的训练场。教学实践表明, 经过两轮训练后, 学生对“理论 - 仿真 - 实物” 三者差异的容忍度和解释能力显著提升。

上述问题及其解决方案已在近两轮教学中迭代实施, 相关经验亦为同类基础课程开展项目实践教学提供了可复制的参考。

6.3. 基于 PDCA 的持续改进机制

为确保教学质量持续提升, 建立基于 PDCA (Plan-Do-Check-Act) 循环的持续改进机制。Plan 阶段: 每学期初根据上一轮评价结果和反馈意见制定教学改进计划; Do 阶段: 在教学实施中落实改进措施, 如调整项目任务难度、优化教学组织流程、完善评价标准等; Check 阶段: 学期末通过课程目标达成度分析、学生问卷调查、同行评教等方式收集评价数据; Act 阶段: 根据评价结果分析存在的问题, 制定下一轮改进方案。具体改进措施包括: 针对综合层目标达成度偏低的问题, 增加工程创新层项目的数量和学时比例; 针对部分学生仿真软件操作不熟练的问题, 在课程初期增加 Multisim 使用培训; 针对项目报告质量参差不齐的问题, 制定详细的报告撰写规范和评分量规。该机制确保教学改革是一个螺旋式上升的持续过程。

7. 结论

本文基于 OBE 理念, 以项目实践教学法为核心驱动, 对《电路》课程教学模式进行了系统化重构, 主要结论如下:

(1) 从课程目标设计、实践任务构建、教学组织实施和评价体系完善四个维度, 构建了 OBE 框架下

项目实践驱动的《电路》课程教学模式,实现了从“以教为中心”向“以学为中心”的转变。(2) 构建了“基础验证-综合设计-工程创新”三层递进式项目实践任务体系,形成了“理论讲授-仿真验证-实践操作”三维融合的教学组织流程,有效解决了理论与实践脱节的问题。(3) 教学实践表明,重构后的教学模式显著提升了学生课程目标达成度(整体由 0.68 提升至 0.80),增强了学生工程实践能力和复杂工程问题求解能力,学生学习满意度和课堂参与度显著提高。(4) 建立了基于 PDCA 循环的持续改进机制,为教学质量持续提升提供了制度保障。

本文在理论与实践方法上的增量贡献主要体现在三方面:第一,区别于既有研究多将 OBE 与项目实践作为两条独立路径的讨论方式,本文在“反向设计”逻辑下系统构建了贯穿“毕业要求指标点-课程目标-实践任务-评价环节”的完整映射路径(见图 1 与表 1),为基础课程的 OBE 落地提供了从理念到操作的全链条方案。第二,区别于既有 OBE 课程改革研究偏重定性描述的取向,本文采用准实验研究设计并通过配对样本 t 检验量化验证了改革成效(见表 3),且所提多元化评价体系可直接量化“解决复杂工程问题”等高阶毕业要求指标点的达成情况,为同类课程改革的效果评价提供了可推广的方法学范式。第三,区别于多数项目实践教学研究集中于专业高年级或综合课程的做法,本文在《电路》这一专业基础课程中分层递进地引入“工程创新”层项目实践,为学生复杂工程问题求解能力的早期培养探索了一条可行路径。

后续研究将进一步探索项目实践任务与工程实际深度融合的路径,引入企业真实项目案例,加强产教协同育人,并拟将本重构方案推广至模拟电子技术、数字电子技术等后续专业课程,构建贯穿专业核心课程群的 OBE 项目实践驱动教学模式体系。

同时,研究所构建的多元化形成性评价指标体系与配对样本 t 检验分析框架,亦可推广至《模拟电子技术》《数字电子技术》等后续专业课程,为专业核心课程群的 OBE 教学改革效果评价提供统一的方法学支撑。

基金项目

湖南省普通本科高校教学改革研究项目: OBE 理念下“项目实践教学法”在《电路》课程教学中的改革与实践,立项编号: 202401001000。

参考文献

- [1] 邱关源, 罗先觉. 电路[M]. 第 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [2] 李瀚荪. 电路分析基础[M]. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [3] Spady, W.G. (1994) Choosing Outcomes of Significance. *Educational Leadership*, **51**, 18-22.
- [4] 林健. 工程教育认证与工程教育改革发展[J]. 高等工程教育研究, 2015(2): 10-19.
- [5] Thomas, J.W. (2000) A Review of Research on Project-Based Learning. Autodesk Foundation.
- [6] 李志义, 朱泓, 刘志军, 夏远景. 用成果导向教育理念引导高等工程教育教学改革[J]. 高等工程教育研究, 2014(2): 29-34+70.
- [7] 张安富. 项目化教学是提高工程型人才培养质量的有效之法[J]. 高等工程教育研究, 2019(3): 166-169.
- [8] 顾佩华, 胡文龙, 林鹏, 包能胜, 陆小华, 熊光晶, 陈严. 基于“学习产出”(OBE)的工程教育模式——汕头大学的实践与探索[J]. 高等工程教育研究, 2014(1): 27-37.
- [9] 李志义. 成果导向的教学设计[J]. 中国大学教学, 2015(3): 32-39.
- [10] 胡佳怡. 项目式学习及其实践困境的突破[J]. 教学与管理, 2021(31): 5-8.
- [11] 施晓秋. 遵循专业认证 OBE 理念的课程教学设计与实施[J]. 高等工程教育研究, 2018(5): 154-160.
- [12] Kolb, D.A. (1984) *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.

- [13] 魏维, 唐聘, 方睿. 试论面向产出的课程目标达成情况评价机制[J]. 高等工程教育研究, 2020(6): 188-193.
- [14] 薛慧君, 张杨, 于霄, 马晓玉, 吕昊. 生物医学工程专业“电路原理”项目化教学改革研究[J]. 教育教学论坛, 2022(16): 56-59.
- [15] 王永泉, 胡改玲, 段玉岗, 陈雪峰. 产出导向的课程教学: 设计、实施与评价[J]. 高等工程教育研究, 2019(3): 62-68+75.

附录 A. “功率因数的提高” 项目任务书

项目名称: 功率因数提高装置设计与实现。工程情境: 某工厂车间感性负载功率因数偏低, 导致供电部门力调电费增加, 需在不改变负载工作状态的前提下将总功率因数提高至 0.95 以上。任务要求: ① 分析感性负载功率因数偏低原因; ② 根据给定负载参数($R = 100\ \Omega$, $L = 0.5\ \text{H}$, $U = 220\ \text{V}$, $f = 50\ \text{Hz}$)计算并联补偿电容值; ③ 在 Multisim 中搭建模型并通过参数扫描验证补偿效果; ④ 在实验室搭建实际电路, 测量补偿前后的电压、电流、有功功率和功率因数; ⑤ 撰写包含工程建议的项目报告。提交物: 方案设计书(含理论计算与仿真分析)、项目报告(含误差分析与工程建议)、演示视频(5 分钟内)。时间节点: 第 1 周任务发布与分组; 第 2 周方案设计书提交; 第 3 周仿真验证报告提交; 第 4 周实物测试与项目答辩。评分构成: 方案设计 30%、仿真验证 25%、实验操作 25%、项目报告与答辩 20% (详见附录 B)。支撑的课程目标: 目标 1 (知识层)、目标 2 (分析层)、目标 3 (设计层)。对应毕业要求指标点: 2.1、3.2、5.2、9.2。

附录 B. “功率因数的提高” 项目评分 Rubric

本附录给出“功率因数的提高”项目四个评价维度的详细评分标准(Rubric), 每个维度按“优秀(90~100)”“良好(75~89)”“合格(60~74)”“不合格(<60)”四档评价。

Table B. Assessment rubric for the “Improvement of Power Factor” project
附表 B. “功率因数的提高” 项目评分 Rubric

评价维度 权重	优秀(90~100)	良好(75~89)	合格(60~74)	不合格(<60)
方案设计 30%	理论计算完全正确, 电容补偿公式推导严谨; 方案完整覆盖工程约束; 含过补偿/欠补偿讨论	理论计算正确, 公式推导基本规范; 方案覆盖主要约束; 少量非关键参数缺省	理论计算基本正确, 存在 1~2 处非关键错误; 方案能完成基本设计但欠完善	理论计算存在明显错误或缺失; 方案不完整, 无法支撑后续实施
仿真验证 25%	Multisim 模型规范, 参数设置完整; 通过参数扫描给出 PF-C 曲线; 结果与理论高度吻合	模型较规范, 参数设置基本完整; 给出主要工况仿真结果; 与理论基本吻合	能搭建基本模型, 参数设置有缺漏; 仅给出单点结果; 与理论有可解释偏差	模型搭建错误或参数缺失; 无法得到有效仿真结果
实验操作 25%	电路搭建规范、布局合理; 仪器使用熟练; 数据采集完整准确; 安全意识强	电路搭建基本规范; 仪器使用较熟练; 数据较完整	电路能工作但搭建不够规范; 仪器使用欠熟练; 数据有缺漏	电路无法正常工作或操作不规范; 数据缺失或失真
项目报告与答辩 20%	报告结构完整、论述严谨; 误差分析深入溯源; 工程建议具有可操作性; 答辩表述清晰	报告结构较完整; 误差分析较充分; 工程建议合理; 答辩能回答主要问题	报告基本完整; 误差分析较浅; 工程建议一般; 答辩基本能回答问题	报告不完整; 缺乏误差分析; 工程建议缺失; 答辩无法回答问题

附录 C. 学生优秀作品节选(匿名范例)

本附录节选自 2023~2024 学年实验组某小组(S4 组, 4 位成员综合成绩位列前 10%)的“功率因数提高装置”项目报告, 经匿名化处理(隐去学生姓名、学号、组别代码等个人信息), 仅保留其设计思路与计算过程以供同行借鉴。

【节选一：方案设计书核心计算片段(节选自原文 2.2 节)】

已知负载参数 $R = 100\ \Omega$ 、 $L = 0.5\ \text{H}$, 电源电压 $U = 220\ \text{V}$ 、频率 $f = 50\ \text{Hz}$, 负载的阻抗角 $\varphi = \arctan(\omega L/R) = \arctan(2\pi \times 50 \times 0.5/100) = 57.5^\circ$, $\cos\varphi_1 = 0.537$ 。要求补偿后总功率因数 $\cos\varphi \geq 0.95$, 则补偿后的功率因数角 $\varphi_2 \leq 18.2^\circ$ 。采用并联电容补偿, 负载本身的有功功率 $P = U^2 R/(R^2 + (\omega L)^2) = 220^2 \times 100/(100^2$

$+157^2) = 174.5 \text{ W}$, 补偿前的视在功率 $S_1 = P/\cos\varphi_1 = 325.0 \text{ V}\cdot\text{A}$, 无功功率 $Q_1 = P\cdot\tan\varphi_1 = 274.5 \text{ var}$ 。补偿后总无功 $Q_2 = P\cdot\tan\varphi_2 = 174.5 \times 0.328 = 57.2 \text{ var}$, 故电容需补偿的无功 $QC = Q_1 - Q_2 = 217.3 \text{ var}$ 。由 $QC = U^2\omega C$ 得 $C = QC/(U^2\omega) = 217.3/(220^2 \times 2\pi \times 50) = 1.43 \times 10^{-5} \text{ F} = 14.3 \mu\text{F}$ 。选取标准容值 $C = 15 \mu\text{F}$, 重新核算补偿后 $\cos\varphi' = P/\sqrt{P^2 + (Q_1 - QC')^2} = 174.5/\sqrt{(174.5^2 + 57.8^2)} = 0.949$, 符合 ≥ 0.95 的设计目标(接近达标)。

【节选二：误差溯源报告片段(节选自原文 4.3 节)】

实测补偿后功率因数为 0.934, 与理论值 0.949 偏差约 1.6%。经逐项排查, 主要误差来源包括: ① 电感线圈内阻未计入理论模型(实测电感内阻约 6.2Ω , 使实际有功功率偏大约 3.2%); ② 电容实际容值 $C = 14.7 \mu\text{F}$ (标称 $15 \mu\text{F}$, 偏差-2.0%), 导致补偿无功偏小约 2.0%; ③ 功率表在低功率因数下测量误差等级 0.5%, 综合误差约 $\pm 1.5\%$ 。扣除上述系统误差后, 修正后实测值 0.947, 与理论值 0.949 偏差仅 0.2%, 在工程允许范围内。工程建议: 在工业现场实施时, 建议采用自动无功补偿装置(精度 $\pm 1\%$), 并对电感内阻进行温漂补偿, 可在功率因数 0.93~0.98 范围内稳定控制达标。