

融合成果导向教育与项目式学习的研究生课程设计改革与实践研究

李 宁, 焦继超, 闫 峥

北京邮电大学电子工程学院, 北京

收稿日期: 2026年3月12日; 录用日期: 2026年4月16日; 发布日期: 2026年4月29日

摘 要

高等教育创新与实践能力的培养背景下, 研究生课程改革的核心挑战是破解理论教学与工程实践场景脱节的痛点。传统教学存在目标模糊、评价单一、脱离实际场景等问题。本文提出成果导向教育与项目式学习深度融合的课程设计通用框架, 创新性构建能力目标映射、项目复杂度评估与协同耦合三大数学模型, 提供量化分析工具。通过反向设计路径搭建“基础验证-综合设计-全流程项目”三级递进式教学体系, 建立融合过程性、成果性评估与外部反馈的多维度评价机制, 设计“教学-实践-转化”闭环课程改进机制。实践表明, 该框架能有效提升学生综合实践、团队协作与创新素养, 核心模型与机制可为同类型工程课程改革提供有益的探索和参考。

关键词

成果导向教育, 项目式学习, 教学改革

Reforming Postgraduate Curriculum through Integration of Outcome-Based Education and Project-Based Learning: A Study on Design and Practice

Ning Li, Jichao Jiao, Zheng Yan

School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing

Received: March 12, 2026; accepted: April 16, 2026; published: April 29, 2026

Abstract

Against the backdrop of fostering innovation and practical competencies in higher education, the

文章引用: 李宁, 焦继超, 闫峥. 融合成果导向教育与项目式学习的研究生课程设计改革与实践研究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(4): 362-374. DOI: 10.12677/ces.2026.144281

core challenge of postgraduate curriculum reform is to address the disconnect between theoretical teaching and engineering practice scenarios. Traditional teaching models are plagued by vague objectives, a single mode of assessment, and disconnection from real-world application scenarios. This paper proposes a universal curriculum design framework based on the deep integration of Outcome-Based Education (OBE) and Project-Based Learning (PBL), and innovatively constructs three mathematical models—an OBE competency objective mapping model, a project complexity assessment model, and a collaborative coupling model—thereby providing quantitative analytical tools. Through a backward design approach, a three-tier progressive teaching system featuring “basic verification, comprehensive design, and full-process projects” is established. A multi-dimensional evaluation mechanism integrating formative assessment, summative assessment and external feedback is built, and a closed-loop curriculum improvement mechanism of “teaching-practice-transformation” is designed. Practical applications show that this framework can effectively enhance students’ comprehensive practical abilities, teamwork skills and innovative literacy. Its core models and mechanisms provide useful exploration and reference for the reform of similar engineering courses.

Keywords

Outcome-Based Education, Project-Based Learning, Teaching Reform

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

知识经济与创新驱动发展背景下，培养兼具扎实理论、卓越实践能力与创新素养的高层次人才，是推动高等工程教育高质量发展、适配行业技术迭代需求的核心命题。但当前多学科研究生培养普遍与工程实践场景脱节，在系统性思维和复杂问题解决能力训练上存在明显短板[1]。高校偏重理论传授、实践环节薄弱，导致毕业生与企业需求存在显著落差，传统课程体系未能体现工程教育的实践性与综合性，学生缺乏从概念到产品的全流程训练，难以形成解决复杂工程问题的能力[2] [3]。

为破解这一困境，推动教育与行业深度衔接、创新教学模式，已成为当前高等教育教学改革，特别是研究生培养模式改革的共识。成果导向教育(Outcome-Based Education, OBE)强调以学生最终获得的能力为导向，反向设计课程体系与教学内容，确保教育目标与产业需求、社会期望相一致[4] [5]；而项目式学习(Project-Based Learning, PBL)则通过真实、完整的项目任务，激发学生主动探索和协作学习，是实现能力培养的有效路径[6]。两者结合，既可明确“培养什么样的人”，又解决了“如何培养”的问题，为研究生课程改革提供了强有力的理论支撑与方法论指导[7] [8]。

尽管 OBE 与 PBL 的融合提供了清晰路径，但实践中仍面临内容更新滞后、实践与理论教学强度不匹配、评价方式单一等问题[9]-[11]。为此，本文通过二者深度融合推演面向复杂工程问题的创新人才培养逻辑，重构课程体系并建立量化模型与动态改进机制，具体研究内容包括：

1) 构建 OBE 能力目标映射模型、项目复杂度评估模型及协同耦合模型，构建一套以目标映射为起点、难度匹配为基准、协同验证为保障的量化评价体系，为课程体系设计提供科学依据，实现从知识掌握到系统设计的渐进式能力培养。

2) 基于数学模型输出结果与协同耦合因子的预警反馈机制，建立融合过程性评估、成果性评估与行业反馈的多维度评价体系，实现对学生能力达成情况的精准衡量与动态追踪。

3) 设计“教学-实践-转化”闭环改进机制, 结合模型迭代优化, 推动课程内容持续更新, 保持与行业技术发展趋势的动态适配。

本研究契合了高等教育强化实践创新能力培养、推动教育与行业协同发展的发展趋势, 同时为解决高校人才培养与产业需求脱节问题提供了有效参考。通过本研究的实践探索, 期望能够为工程类专业研究生课程改革提供可借鉴的经验和模式。

2. 理论基础与数学模型构建

2.1. OBE 与 PBL 的内涵及融合机制

OBE 是以预期学习成果为核心的教育系统方法。核心是“反向设计”, 从行业与社会所需能力出发确定课程目标、内容与方法, 通过评价反馈持续改进[1]。OBE 注重教育的效果而非仅仅是教学过程, 强调学生最终“能做什么”, 而非“学了什么”。这一理念尤其契合工程教育认证中所要求的“能力导向”和“持续改进”, 在国内模拟集成电路设计、数字集成电路设计等课程改革中已得到广泛应用并验证其有效性[5]。

PBL 是以学生为中心的教学方法。引导学生参与真实、有挑战性的项目任务, 使其在解决实际问题的过程中整合知识、锻炼技能、培养团队协作与创新思维[12]。PBL 能显著提高学生学习主动性、工程实践能力和职业适应力, 在工程类课程中可有效平衡软、硬技能的协同培养[6] [7]。Mills 等通过对比分析进一步指出, PBL 在工程教育中比传统教学模式更能促进学生解决复杂工程问题能力的形成[8]。

OBE 与 PBL 在学生能力培养目标上高度一致, 具备良好的互补性与融合基础: OBE 从宏观规定“培养什么能力”, 为 PBL 的项目选择、设计与评价提供依据; PBL 从微观提供“如何培养”的具体路径, 通过项目实践落实 OBE 的能力目标[13] [14]。二者的“目标-手段”互补逻辑已在多跨学科课程改革的初步探索[15] [16]。但二者的融合机制尚未实现系统化、模型化。

基于二者的高度互补性, 本研究构建闭环教学架构, 设计协同耦合模型。通过目标映射分解复杂工程问题的能力指标, 利用协同耦合模型计算项目与能力目标的关联程度, 实现教学内容与目标的动态匹配, 最终基于耦合度反馈推动课程体系向高阶能力培养迭代, 将定性教学理念转化为可观测、可调节的系统化工程实践, 为研究生创新能力培养提供闭环自适应实施路径[17]。

2.2. OBE 与 PBL 融合的数学模型构建

本研究依据 OBE 与 PBL 匹配技术, 从目标映射、难度评估、耦合关联三个维度构建核心数学模型, 通过量化手段解决教学目标与执行过程的适配难题, 为课程体系设计与评价提供量化支撑。

2.2.1. OBE 能力目标映射数学模型

该模型将集成电路设计课程的 OBE 能力目标(知识、技能、素养三维度)分解为可量化、可评估的子指标, 并建立与教学环节的映射关系。

1) 能力目标分层与权重赋值

基于行业调研或工程教育认证标准, 确定三级能力指标体系。随后采用层次分析法(AHP)邀请领域专家对各级指标权重进行赋值, 通过一致性检验确保权重合理性。具体而言:

假设共有 n 个指标参与同一层级的权重比较, 专家通过两两比较法构造判断矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, a_{ij} 表示第 i 个指标相对于第 j 个指标的重要性比例标度。

随后计算判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} 及其对应的特征向量 W , 并对特征向量进行归一化处理, 得到权重向量:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

为确保判断逻辑的合理性, 需进行一致性检验:

计算一致性指标 CI :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

从标准随机一致性指标表(表 1)查询对应矩阵阶数 n 的随机一致性指标 RI , 计算一致性比率 CR :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

若 $CR < 0.1$, 则认为判断矩阵满足一致性要求, 否则需重新调整判断矩阵。每一位专家的判断矩阵都要通过 CR 检验, 最后将所有专家的权重取平均值。

Table 1. Average random consistency index RI (partial)

表 1. 平均随机一致性指标 RI (部分)

矩阵阶数 (n)	RI 值
1	0
2	0
3	0.52
4	0.89
5	1.12

2.2.2. 能力目标与教学环节映射函数

设教学环节集合为 $T = \{T_1, T_2, T_3\}$ (T_1 : 基础验证实验, T_2 : 综合设计实验, T_3 : 全流程项目), 第 i 个教学环节对第 n 个三级能力指标的贡献度为 $C_{i,n}$ (取值范围 0~1, 通过专家打分确定), 则第 i 个教学环节的能力培养总贡献值 $F(T_i)$ 计算公式为:

$$F(T_i) = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{m_k} \sum_{n=1}^{p_{kl}} W_{k,l,n} \times C_{i,n} \quad (5)$$

其中, $W_{k,l,n}$ 为第 k 个一级指标、第 l 个二级指标、第 n 个三级指标的权重乘积, m_k 为第 k 个一级指标下二级指标数量, p_{kl} 为第 k 个一级指标下的第 l 个二级指标下三级指标数量。通过该公式可计算出不同教学环节的能力培养总贡献值, 为教学环节时长分配、内容设计提供量化依据, 验证三级教学体系“由浅入深、逐步递进”的能力培养逻辑。

2.2.3. 复杂度评估模型

为了科学地匹配教学难度与学生水平, 本研究建立了复杂度评估模型, 以客观地测量出每个实验或项目在知识面、技能层次和工作量上的复杂程度。

1) 评估指标与量化方法

选取 4 个核心评估指标: 知识覆盖度 (X_1)、技能要求等级 (X_2)、任务周期 (X_3)、团队协作规模 (X_4),

各指标量化方式如表 2 所示。

Table 2. Quantitative table of complexity evaluation indicators
表 2. 复杂度评估指标量化表

评估指标	量化方式	取值范围
知识覆盖度(X_1)	涉及 OBE 二级指标数量/总二级指标数量	0~1
技能要求等级(X_2)	基础级(0.25)、进阶级(0.5)、综合级(0.75)、创新级(1)	0~1
任务周期(X_3)	计划完成时间/教学环节计划分配时长 t_i	0~1
团队协作规模(X_4)	团队人数/最大合理团队规模 N	0~1

其中, 教学环节计划分配时长 t_i 由公式(5)的计算结果作为主要设定依据。最大合理团队规模 N 由任课教师根据过往经验以及课程资源约束设置, 一般来讲, 一个完整的工科项目流程, 通常可以清晰地划分为 6~8 个核心角色, 如架构、设计、仿真、验证、测试、文档、项目管理等, 可以据此进行设置。

2) 复杂度计算模型

采用线性加权法计算复杂度指数 C , 各项权重 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 利用过往学生数据通过主成分分析法并进行归一化得到:

$$C = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 \quad (6)$$

剔除过于简单($C < 0.2$)和过于困难($C > 0.8$)的区间, 模型聚焦于 0.2~0.8 的区间划分复杂度等级, 并将复杂度分为三级: 基础级($0.2 < C \leq 0.4$)、进阶级($0.4 < C \leq 0.6$)、综合级($0.6 < C \leq 0.8$), 分别对应“基础验证实验”“综合设计实验”“全流程项目”三级教学环节, 确保课程难度与学生能力成长节奏一致。

2.2.4. 协同耦合模型

在确定能力贡献值 $F(T_i)$ 与复杂度指数 C 的计算逻辑后, 为消除理论设定与实践执行之间的偏离, 本研究进一步构建协同耦合模型, 以定量描述两者的契合程度。模型的核心在于将 OBE 预设的能力贡献度与 PBL 项目的复杂度进行耦合关联, 确保教学投入精准转化为学生素养。具体而言, 通过计算能力贡献值 $F(T_i)$ 与复杂度指数 C 在量纲统一后的偏离度, 构建协同耦合因子 η :

$$\eta = 1 - \frac{|F(T_i) - C|}{\max(F(T_i), C)} \quad (7)$$

当 $\eta \geq 0.85$ 时, 判定为“高效耦合状态”, 说明 PBL 项目的任务强度恰好支撑了 OBE 目标的达成; 若 η 过低, 则说明项目设计偏离了能力靶向。协同耦合模型不仅用于课程设计阶段的前置量化匹配, 确保各环节难度与培养目标梯度递进, 在教学实施后, 通过代入实际考核数据计算后置评估值, 从而形成对教学方案的闭环验证与持续迭代机制。

2.3. 课程模型的通用适配性分析

对于强调理论与实践深度融合的课程体系而言, 通常具有多学科交叉、知识体系复杂、能力要求综合等特点[17]。要求学生兼具扎实理论基础与综合实践能力, 这类课程天然适合 OBE 与 PBL 融合的教学模式[3]。

从 OBE 角度看, 这类课程的能力目标可逐层分解为知识、技能与素养三个维度, 这与 OBE 能力目标映射数学模型的三级指标体系相契合, 通过模型的权重赋值与映射函数计算, 能将能力目标系统映射到各教学环节, 该目标分解方法已在多学科课程改革中得到验证[15]。

从 PBL 角度看, 该类课程本身具有明显的项目驱动特征, 其完整的知识应用流程或问题解决流程天然适合以项目形式展开教学[3]。复杂度评估模型为项目难度设计提供量化支撑, 不同复杂度的项目对应

学生不同能力阶段，培养系统性思维与复杂问题解决能力，真实情境的 PBL 教学也被证实能有效提升学生的职业适应力与实践创新素养[18]。

综上，OBE 与 PBL 深度融合并引入数学模型，构建了一套面向工程类实践课程的设计量化分析方法，通过目标映射、复杂度评估实现内容匹配，依托协同耦合模型形成目标到过程的量化闭环，系统化解决了传统教学理论与实践脱节、目标与过程不一致的共性问题，为同类型的研究生课程改革提供了科学且可操作的框架与路径。

2.4. 面向复杂工程问题的创新人才培养逻辑

本课程设计框架将教育理念转化为可操作的教学路径，将 OBE 模型中的行业硬性指标转化为 PBL 项目的要求，让学生在课程学习中，培养工程实战创造力，在复杂项目环境中，利用知识进行方案比选与自主决策，实现从“知识搬运”到“系统创新”的思维跃迁。

3. 课程设计方案

为验证前述理论框架的可行性与有效性，本研究选取“集成电路设计”研究生课程作为实践案例。基于丰富的教学资源和企业合作基础，为开展以项目为载体的教学改革提供了重要支撑。

3.1. 集成电路设计课程的模型实现

基于前文构建的模型，结合集成电路设计课程的具体指标数据与参数，完成模型在课程中的具体实现。有关 AHP 和 PCA 的详细分析与操作流程，可见附录 A 和附录 B。

3.1.1. OBE 能力目标映射

首先，基于行业调研(覆盖 8 家集成电路设计企业，回收有效问卷 86 份)与工程教育认证标准，确定三级能力指标体系。随后邀请 5 位高校集成电路专业教授与 5 位企业高级工程师，对知识、技能、素养三维度一级指标及下属二级、三级指标进行权重赋值，经一致性检验确保权重合理性。具体结果如表 3 所示。

Table 3. OBE ability target hierarchy and weight table

表 3. OBE 能力目标分层与权重表

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重
知识维度	0.3	半导体器件基础	0.25	半导体物理特性	0.4
				器件模型与参数	0.6
		数字/模拟 IC 原理	0.4	数字电路逻辑设计	0.55
				模拟电路性能指标	0.45
		EDA 工具与流程	0.35	工具操作规范	0.3
				设计流程完整性	0.7
技能维度	0.45	电路设计与仿真	0.3	模块代码编写	0.45
				仿真结果分析	0.55
		布局布线与时序	0.25	布局合理性	0.35
				时序约束优化	0.65
		功能验证与测试	0.3	验证方案设计	0.4
				测试用例覆盖率	0.6
项目管理	0.15	进度规划	0.3		
		文档规范性	0.7		

续表

素养维度	0.25	工程伦理	0.2	合规设计意识	0.6
				知识产权保护	0.4
		创新意识	0.35	方案创新性	0.65
				问题解决创新性	0.35
		团队协作	0.45	任务分工合理性	0.3
				沟通效率	0.7

邀请上述 10 位专家对各教学环节与三级指标的贡献度 $C_{i,n}$ 进行打分，取平均值作为最终贡献度。依据公式(5)代入具体权重与贡献度数据计算得到： $F(T_1)=0.32$ ， $F(T_2)=0.58$ ， $F(T_3)=0.76$ 。

该结果验证了三级教学体系“由浅入深、梯度递进”的能力培养逻辑，据此确定 T_1 (基础验证实验)课时占比 25%、 T_2 (综合设计实验)占比 30%、 T_3 (全流程项目)占比 45%，确保能力培养资源精准分配。

3.1.2. 复杂度评估模型的权重确定

基于课程过往 3 届 157 个实践项目样本数据，采用主成分分析法计算知识覆盖度(X_1)、技能要求等级(X_2)、任务周期(X_3)、团队协作规模(X_4)四项指标的权重，归一化后，得到复杂度计算公式：

$$C = 0.38X_1 + 0.32X_2 + 0.18X_3 + 0.12X_4 \tag{8}$$

3.1.3. 基于协同耦合模型的科学性校验

在确定能力贡献值 $F(T_i)$ 与复杂度指数 C 的计算逻辑后，引入协同耦合模型对各教学环节进行预置校验，确保各阶梯任务的挑战度(复杂度)与预设目标(贡献度)高度契合，从而为后续三级递进式教学体系的构建提供判别依据。

3.2. “层次化实验 + 全流程项目” 教学体系构建

以目标映射与复杂度模型为基础，并以协同耦合因子 η 作为高效耦合的判别约束，结合集成电路设计从基础逻辑到系统集成的知识递进规律，构建“基础验证实验 - 综合设计实验 - 全流程项目”三级实践体系，实现理论知识与工程实践的深度耦合。如图 1 所示。

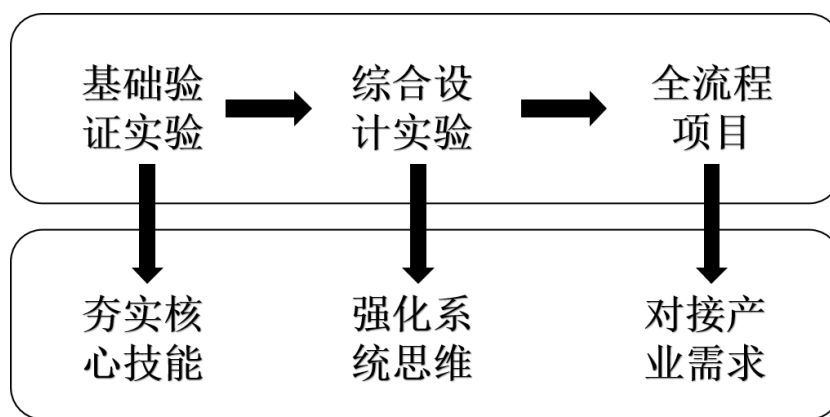


Figure 1. Schematic diagram of the teaching system construction

图 1. 教学体系构建示意图

不同阶段的实践内容设计参考 C 值和协同耦合因子 η 进行设计，确保内容难度匹配当前教学环节和能力等级，表 4 和表 5 列举了 3 种复杂度和协同耦合因子 η 的匹配案例，表 6 列写了设计的 7 个实验。

Table 4. Complexity and teaching link matching table
表 4. 复杂度与教学环节匹配表

教学环节	实践内容	X_1	X_2	X_3	X_4	C 值	复杂度等级
基础验证实验	多功能数字时钟设计	0.5	0.25	0.125	0.25	0.3225	基础级
综合设计实验	智能售货机控制系统	0.7	0.5	0.25	0.5	0.531	进阶级
全流程项目	基于 FPGA 的智能安防监控系统	0.9	0.75	0.5	0.75	0.762	综合级

Table 5. Coupling factor η matching table
表 5. 耦合因子 η 匹配表

教学环节	实践内容	$F(T_i)$	C 值	耦合因子 η
基础验证实验	多功能数字时钟设计	0.32	0.3225	0.992
综合设计实验	智能售货机控制系统	0.58	0.531	0.916
全流程项目	基于 FPGA 的智能安防监控系统	0.76	0.762	0.997

3.2.1. 基础验证实验

对应基础级复杂度($0.2 < C \leq 0.4$, $\eta \geq 0.85$), 围绕基础知识点设计模块化实验, 遵循“知识点 - 工具操作 - 功能验证”逻辑, 培养学生 EDA 工具使用、逻辑设计与验证等基础技能。

例如, 在“多功能数字时钟设计”实验中($C = 0.3225$, $\eta = 0.992$), 要求学生掌握时序逻辑建模与数码管显示控制, 对应 OBE“数字电路逻辑设计”等三级指标, 实验完成后需达到“代码编写正确率 $\geq 95\%$, 仿真覆盖率 $\geq 85\%$ ”的能力标准。

3.2.2. 综合设计实验

对应进阶级复杂度($0.4 < C \leq 0.6$, $\eta \geq 0.85$), 整合多知识点设计综合实验, 遵循“跨知识点融合、多工具协同、问题导向”原则, 培养学生模块协同与问题解决能力, 建立系统级设计思维。

例如, “自动售货机控制系统设计”($C = 0.531$, $\eta = 0.916$)中, 要求学生集成 FIFO (First In, First Out) 缓存模块实现投币数据与商品库存数据的跨时钟域传输, 通过有限状态机管理“商品选择 - 投币验证 - 出货找零”全流程, 同时加入缺货检测与销售数据统计功能。实验过程中引入“问题导向”任务, 如“优化 FIFO 深度以解决数据拥塞问题”“调整状态机跳转逻辑减少响应延迟”, 引导学生综合运用数组存储、时序约束、状态编码等知识。

Table 6. Experiment list (experiments marked with * are comprehensive design experiments)
表 6. 实验列表(实验名称后带*的为综合设计实验)

序号	实验名称
1	多功能数字时钟设计
2	多功能数字时钟与交通信号灯控制系统融合设计*
3	高速数据采集与处理系统设计
4	自动售货机控制系统设计*
5	SystemVerilog 断言与功能覆盖实验
6	基于 SystemVerilog 的数字电路复杂功能验证实验
7	基于硬件线程与接口的多模块数据处理系统设计*

3.2.3. 全流程项目

对应综合级复杂度($0.6 < C \leq 0.8$, $\eta \geq 0.85$), 以真实工程场景为背景, 设计覆盖“需求分析 - 方案设计 - 硬件实现 - 测试优化”的全流程项目(见表 7), 采用 PBL 模式驱动学生自主开发, 选题兼顾学术前沿与工程实践需求。

例如, “基于 FPGA 的智能安防监控系统”项目($C = 0.762$, $\eta = 0.997$), 需完成摄像头数据采集、图像滤波与目标检测预处理, 对应 OBE “方案创新性” “布局合理性” “文档规范性” 等核心指标, 要求达到“视频预处理延迟 ≤ 1 s, 目标检测预处理准确率 $\geq 85\%$ 等标准。学生需提交完整的项目文档(需求规格书、设计方案、测试报告、用户手册), 模拟企业研发流程, 培养工程化思维与团队协作能力。

Table 7. Project list

表 7. 项目列表

序号	项目名称
1	基于 FPGA 的智能安防监控系统
2	基于 FPGA 的智能家居控制系统

3.3. 多维度评价体系构建

遵循 OBE 评估理念, 构建“过程性评估 + 成果性评估 + 行业反馈”多维度评价体系, 全面反映学生能力达成情况。如图 2 所示。

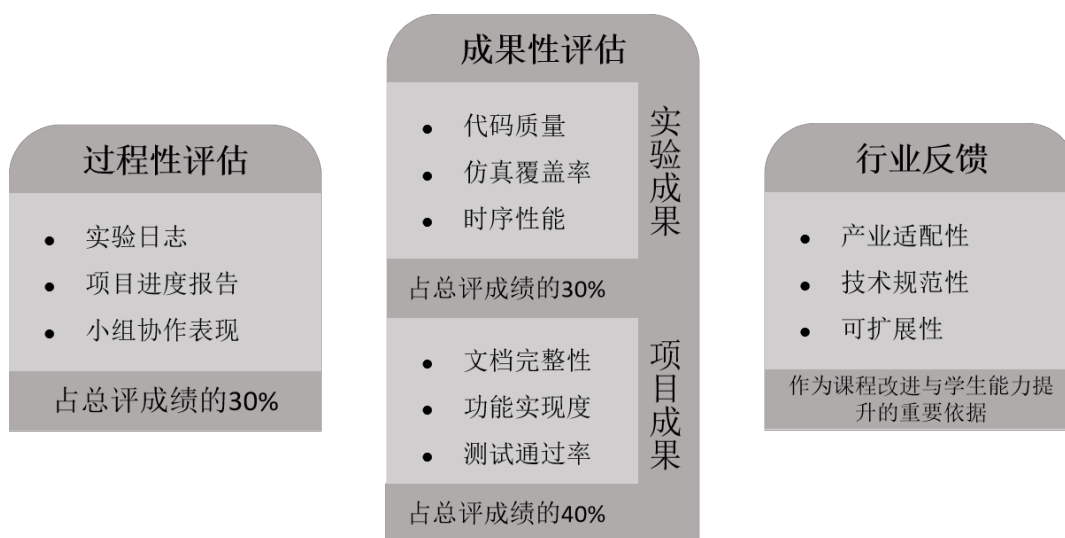


Figure 2. Schematic diagram of the multidimensional evaluation system

图 2. 多维度评价体系示意图

3.3.1. 过程性评估

占总评成绩 30%, 覆盖实验与项目全流程, 包括实验日志、项目进度报告、小组协作表现, 评估指标基于 OBE 能力目标优化, 分别对应问题解决创新性、进度规划、团队协作等指标, 通过教师批改、导师评审和小组互评、匿名互评等方式开展, 核心是动态追踪学生能力成长, 及时发现并纠正不足。

3.3.2. 成果性评估

占总评成绩 70%(实验成果 30%、项目成果 40%), 采用量化与定性结合的方式, 评估指标结合 OBE

技能维度核心指标，评分标准参考能力培养总贡献值设定。实验成果以代码质量、仿真覆盖率、时序性能为核心，项目成果以文档完整性、硬件功能实现度、测试通过率为核心，通过量化指标确保能力达标，结合定性评价实现全面衡量。

3.3.3. 行业反馈

请行业专家参与评估，结果不直接计入总评，作为课程改进与学生能力提升的重要依据，评估指标与 OBE 能力目标一致，形成问题清单与改进建议，既优化后续课程项目设计，也为学生明确能力短板与职业发展方向。

3.4. 闭环改进机制设计

建立“教学 - 实践 - 转化”的闭环机制，将数学模型迭代、教学实践反馈、产业需求变化融入课程改进全过程，确保课程内容与能力培养目标的持续适配，如图 3 所示。

教学(Instruction): 以 OBE 能力目标映射模型为指导，系统实施模块化理论教学与项目化实验教学，构建学生集成电路设计的知识体系与方法论，为创新实践能力奠定基础。

实践(Practice): 以实验操作与项目开发为主要形式，强调学生动手能力与问题解决能力的培养。并在实施过程中根据协同耦合模型，动态计算实际达成的 η 值。若 $\eta < 0.85$ ，即刻触发预警，通过分析复杂度指标 C 与目标贡献度 $F(T_i)$ 的偏差，诊断教学环节的失调点。

转化(Transformation): 将学生优秀项目成果进行进一步研发，与企业合作转化为原型产品或技术方案。

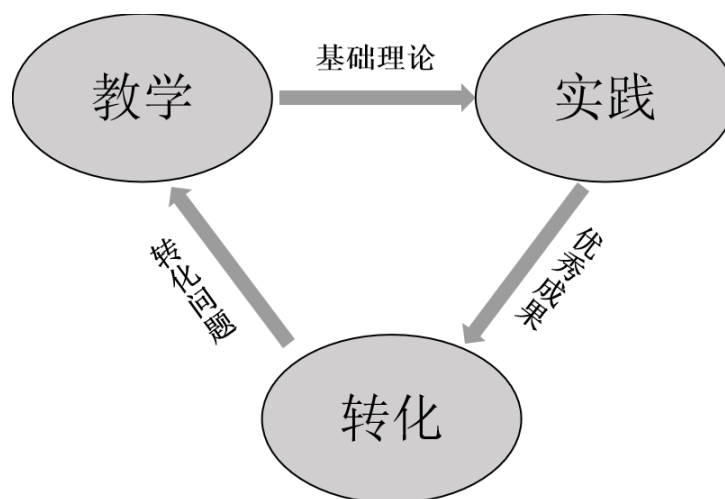


Figure 3. Schematic diagram of closed-loop improvement mechanism
图 3. 闭环改进机制示意图

根据实践反馈与成果转化问题，对 OBE 能力目标映射模型与复杂度评估模型进行迭代优化，并同步优化教学内容与环节，形成“教学 - 实践 - 转化 - 改进教学”的良性循环。

4. 改革实践成效与反思

4.1. 实践成效

针对“集成电路设计”课程的改革在研究生课程中实施 1 学年，覆盖学生 52 人。通过收集课程数据、学生作品评估及学生自我评价，改革成效主要体现在以下几个方面：

4.1.1. 学生创新素养与复杂问题解决能力显著增强

全流程项目中每组平均提出 2.4 个原创设计思路，67.3%的创新方案仿真验证成功，4 项项目成果申报校级及以上创新创业竞赛或申请实用新型专利，设计学生 18 名，成果转化参与率达 34.6%，实现从知识复现到原创设计的跨越。

4.1.2. 学生项目完成质量显著提升，工程能力达成度优于往届

对比改革前两届学生(共 98 人)与本届改革后学生(52 人)的项目验收结果，本届学生在核心评估维度的优良率(优秀率 + 良好率)均有明显提升，具体数据见表 8。

Table 8. Comparison of project completion quality evaluation results

表 8. 项目完成质量评估结果对比

评估维度	本届(改革后, N=52)	往届(改革前, N=98)	提升幅度
功能实现完整度	80.8%	69.4%	11.4%
代码规范性与质量	78.9%	65.3%	13.6%
文档完整性与规范性	71.1%	63.2%	7.9%
系统设计与创新性	76.9%	65.3%	11.6%

4.1.3. 学生能力自我评价提升显著

课程改革成效在学生自我评价层面得到了积极反馈。通过课程结束后的匿名问卷调研(有效问卷 52 份)，学生对自身核心能力提升的感知度显著提升。对比改革前后的平均得分(以 5 分制量表计)，学生在工程实践素养及创新应用能力方面的认同感均有明显增长，具体数据如表 9 所示：

Table 9. Comparison of students' self-assessment of ability achievement before and after curriculum reform

表 9. 学生课程改革前后能力达成度自我评估对比

能力维度	改革前平均分	改革后平均分	提升幅度
工程实践动手能力	3.2	4.6	43.8%
复杂系统架构思维	3.1	4.4	41.9%
工程工具协同使用	3.4	4.7	38.2%
创新意识与方案设计	2.9	4.5	55.2%
团队协作与抗压能力	3.5	4.6	31.4%

4.2. 问题与反思

改革实施中，操作层面与理论框架均显现问题，且评估数据的指标提升差异也反映出体系设计短板：一是实操中部分学生重硬件实现、轻文档规范，硬件资源限制也导致高复杂度项目难以多团队并行开发；二是量化模型存在僵化风险，指标权重基于专家经验与历史数据确定，对领域新兴技术适配滞后，协同耦合模型固定阈值也未兼顾学生个体能力差异；三是文档规范性提升幅度远低于其他指标，核心因框架对工程素养类指标量化设计不足，其权重占比低且未纳入项目复杂度计算，导致学生忽视该维度培养。

对此提出修正建议：一是优化模型动态适配性，增设新兴技术能力指标模块，建立行业调研机制动态调整权重，将协同耦合阈值改为梯度弹性值；二是强化素养类指标量化约束，提升其权重并纳入复杂度评估体系，设置文档阶段性评审并制定企业级量化标准；三是通过校企合作扩充硬件资源，搭建线上仿真平台弥补线下资源不足，支撑多团队并行实践。

4.3. 研究局限性

本研究仍存在一定局限性，对研究结论的适用范围形成限制：一是研究样本单一，仅以集成电路设计单门研究生课程、单届 52 名学生为实践对象，未开展多课程、多院校的对照实验，结论的外推性受限；二是成效评估采用历史对照方法，未设置同期平行对照组，无法完全排除届际学生基础差异、授课环境变化等无关变量对结果的干扰；三是模型与体系构建基于工程类学科的能力培养逻辑，带有显著的工科实践导向特征，难以直接适配人文社科、基础理科等不同学科属性的课程改革需求。

5. 结论与展望

本研究提出的 OBE 与 PBL 融合的课程设计方法论，通过构建耦合模型破解了课程目标与项目实践脱节的困境，提炼出面向复杂工程问题的人才培养逻辑，实践证明该量化模型可为集成电路及同类工程专业研究生创新素养与工程能力培养提供可行路径。

从理论价值来看，本研究引入数学模型量化分析 OBE 能力目标与实践内容的匹配关系，为 OBE-PBL 融合提供了一套可参考的量化分析方法；从实践价值来看，改革成效得到学生与合作企业的认可，构建的三级教学体系与闭环改进机制可为同类型工程类研究生课程改革提供有益的探索和参考。

未来将从四方面深化该方法论的研究与实践：第一，优化研究设计，引入同期平行对照实验，减少历史对照带来的评估偏倚，同时拓展多课程、多院校的实践样本，验证模型与体系的适配性；第二，构建更客观多元的成效评估体系，在现有评估基础上，引入课程前后的标准化专业能力测试、由外部不知情行业专家开展的项目盲审打分，同时建立毕业生长期职业发展追踪机制，多维度验证改革的长期成效；第三，增强模型动态适应性，引入学习分析技术，实现教学内容智能优化与个性化学习路径生成；第四，推动与智慧教学平台的深度融合，开发课程设计辅助工具，降低应用门槛，为相关院校工程类研究生课程的优化与实践提供可参考的实施路径。

基金项目

北京邮电大学研究生教育教学改革研究资助项目(2024Y031)。

参考文献

- [1] 赵强, 彭春雨, 郝礼才, 等. OBE 理念下“数字集成电路设计”课程教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2024, 46(3): 37-40.
- [2] 许佳雄, 刘振. 基于 OBE 的模拟集成电路设计课程教学改革探索[J]. 高教学刊, 2023, 9(18): 134-137.
- [3] 殷树娟. 集成电路设计专业的本科实践教学探索[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(12): 435-438.
- [4] Degenhardt, D.A. and Woodard, B.S. (2019) Applying Project-Based Learning with an Emphasis on Engineering Communication for First-Year Students. 2019 *ASEE Annual Conference & Exposition*, Tampa, 15-19 June 2019, 1-14.
- [5] Zhou, Z. and Luo, P. (2020) Reform Research and Practice on Analog CMOS Integrated Circuits Design Course Based on OBE Mode. *Proceedings of the International Conference on Modern Educational Technology and Innovation and Entrepreneurship (ICMETIE 2020)*, Sanya, 10-12 January 2020, 335-339. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200306.133>
- [6] Konings, D. and Legg, M. (2020) Delivering an Effective Balance of Soft and Technical Skills within Project-Based Engineering Courses. 2020 *IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, Takamatsu, 8-11 December 2020, 157-164. <https://doi.org/10.1109/tale48869.2020.9368493>
- [7] Tunncliffe, M., Brown, N. and Shekar, A. (2021) Rapid Learning Cycles for Project-Based Learning. *REES AAE 2021 Conference: Engineering Education Research Capability Development: Engineering Education Research Capability Development*, Perth, 5-9 December 2021, 1094-1103.
- [8] Mills, J.E. and Treagust, D.F. (2003) Engineering Education—Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer. *Australasian Journal of Engineering Education*, 3, 2-16.
- [9] 杨院, 范媛媛. 从工科生到工程师:工程教育体系的核心指向、现实困境及变革路径[J]. 教育发展研究, 2024,

- 44(19): 78-84.
- [10] 张金海, 马聪, 高琴, 樊静, 蓝蕊, 王丽. 新工科视域下工程实践创新教学体系的研究和实践[J]. 机械设计, 2024, 41(6): 171-176.
- [11] 叶回春, 胡衍雷, 张世武. 融合新工科与思政教育的工程实践教学模式创新研究[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(8): 193-198.
- [12] Lei, J. (2019) The Curriculum Goal Achievement Evaluation Design of IC Design and Integrated System Excellent Engineer CDIO Training Mode. *Journal of Physics: Conference Series*, **1345**, Article 062011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1345/6/062011>
- [13] 解光军. 微电子学专业教学内容及教学方式改革的探讨[J]. 合肥工业大学学报(社会科学版), 2002, 16(6): 22-24.
- [14] 刘萌, 郑焯. OBE 模式结合 PBL 教学法实现地方高校教育范式转变的研究[J]. 齐鲁师范学院学报, 2019, 34(3): 31-35+61.
- [15] 徐慧芳, 程明, 于玉亭. 基于 OBE 理念的“集成电路 CAD”教学改革探索[J]. 上饶师范学院学报, 2018, 38(3): 30-34.
- [16] 王潇. 基于 OBE 与 PBL 的计算机组成原理课程思政探索与实践[J]. 创新教育研究, 2025, 13(2): 435-444.
- [17] 冯骞, 林涛, 陶辉, 等. 基于 OBE 理念的 PBL 教学模式在“水处理工程(I)”教学改革中的应用[J]. 创新创业理论研究与实践, 2022, 5(20): 162-165.
- [18] 邹雪, 张永锋, 丛国涛, 张晓旭. 产教融合背景下集成电路版图设计课程教学改革探索[J]. 中国集成电路, 2025, 34(6): 25-29.