

计算机硬件系统综合创新实践项目式课程建设 研究与实践

姜书浩^{1,2}, 高珊¹, 马云鹏¹, 张欣欣¹, 李立鹏¹

¹天津商业大学信息工程学院, 天津

²天津商业大学教务处, 天津

收稿日期: 2026年4月5日; 录用日期: 2026年5月4日; 发布日期: 2026年5月11日

摘要

针对计算机类专业课程壁垒突出、理论实践脱节、硬件实践能力培养不足等问题, 以计算机硬件系统综合创新实践为载体, 构建“三层三协”课程群项目式教学体系, 深度融合C/C++程序设计、离散结构、计算机组成原理三门核心课程, 围绕数据表示、运算器、存储器、指令系统与CPU四大硬件模块开展递进式项目训练。以Cache地址映射为典型教学案例, 采用理论讲授 + 案例分析 + 小组研讨 + 实践验证的混合教学模式, 有机融入课程思政, 建立过程性多元评价机制。实践表明, 该模式有效打通课程边界, 显著提升学生软硬件协同设计、逻辑思维与工程创新能力, 学生竞赛成果、课程满意度与教学质量持续提升, 可为新工科背景下计算机类项目式课程群建设提供可复制、可推广的改革范式。

关键词

项目式课程, 三层三协, 教学改革, 课程思政

Research and Practice on the Construction of Project-Based Curriculum for Comprehensive Innovative Practice of Computer Hardware System

Shuhao Jiang^{1,2}, Shan Gao¹, Yunpeng Ma¹, Xinxin Zhang¹, Lipeng Li¹

¹School of Information Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin

²Academic Affairs Office, Tianjin University of Commerce, Tianjin

Received: April 5, 2026; accepted: May 4, 2026; published: May 11, 2026

文章引用: 姜书浩, 高珊, 马云鹏, 张欣欣, 李立鹏. 计算机硬件系统综合创新实践项目式课程建设研究与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(5): 539-546. DOI: 10.12677/ae.2026.165889

Abstract

Aiming at the prominent problems in computer-related majors, such as isolated courses, disconnection between theory and practice, and insufficient cultivation of hardware practical ability, this paper takes the comprehensive innovative practice of computer hardware system as the carrier, and constructs a project-based teaching system of curriculum group with the architecture of “Three Layers & Three Collaborations”. It deeply integrates three core courses: C/C++ Programming, Discrete Structure, and Computer Organization Principles. Progressive project training is carried out around four core hardware modules: data representation, arithmetic unit, memory, and instruction system & CPU. Taking Cache address mapping as a typical teaching case, a mixed teaching mode of “theoretical explanation + case analysis + group discussion + practical verification” is adopted, with ideological and political elements integrated organically, and a process-oriented multivariate evaluation mechanism is established. Practice shows that this model effectively breaks down course barriers, significantly improves students’ abilities in software and hardware collaborative design, logical thinking and engineering innovation. Students’ competition achievements, curriculum satisfaction and teaching quality have been continuously improved. It can provide a reproducible and popularized reform paradigm for the construction of project-based curriculum groups of computer majors in the background of emerging engineering education.

Keywords

Project-Based Curriculum, Three Layers and Three Collaborations, Teaching Reform, Ideological and Political Education in Curriculum

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

全球新一轮科技革命与产业变革深入推进，人工智能、集成电路、嵌入式系统等数字技术快速发展，推动信息产业由软件主导向软硬件协同设计、一体化实现转型。国家深入实施新工科建设与卓越工程师教育培养计划 2.0，强调深化工程教育改革，强化实践创新与系统思维，面向产业真实需求培养复合型高素质工程科技人才[1]。新工科对计算机类专业人才培养提出明确要求：打破课程壁垒、强化工程实践、对接产业需求、突出创新能力[2] [3]。

我国集成电路、CPU、存储系统等关键领域快速发展，行业亟需具备硬件原理、系统设计、工程实现与协同开发能力的专业人才。然而，传统硬件类课程存在课程分割、理论偏重、实践薄弱、评价单一、思政融入浅层等问题，学生难以建立“软件 + 逻辑 + 硬件”的系统认知，复杂工程问题解决能力不足。在此背景下，以项目式学习(PBL)为抓手，构建跨课程、递进式、一体化的硬件系统综合创新实践课程群，成为落实新工科理念、提升人才培养质量的重要路径。

2. 研究现状和研究意义

2.1. 国内外研究现状

项目式学习已成为工程教育改革的主流模式。国外顶尖高校以大型综合设计项目贯通计算机核心课

程,通过 CPU 设计、存储系统优化等真实工程任务,实现理论与实践深度融合,形成成熟的项目式课程体系与评价机制[4]。

国内高校积极推进单门计算机课程项目化改革,在程序设计、数据结构、计算机组成原理等课程取得一定成效,但仍存在明显局限:项目多局限于单门课程,跨课程协同的项目式课程群建设较少;项目以验证性为主,面向产业需求的综合性、创新性不足;教学实施与评价缺乏协同机制,难以支撑系统思维与复杂工程问题能力培养[5]。

面向计算机硬件底层核心课程的跨课程项目式改革更为稀缺,知识碎片化、实践环节薄弱、软硬件脱节等问题突出,亟需构建多课程协同、递进实施、一体化评价的项目式课程群体系。在计算机科学与技术专业人才培养体系中,硬件系统是核心根基,程序设计是实现工具,离散结构是逻辑基础,三者共同构成计算机系统从底层到上层的完整知识链[6][7]。然而,传统硬件类课程教学长期存在诸多瓶颈:第一,课程分割独立,程序设计、离散数学、计算机组成原理分课程授课,知识点碎片化、关联性弱,学生难以建立“软件编码+逻辑建模+硬件实现”的一体化认知;第二,理论讲授为主,对 Cache、地址映射、运算器、指令流水线等抽象概念依赖板书与 PPT,缺乏可视化、可操作、可验证的实践环节,理解难度大、学习兴趣低[8];第三,实践环节薄弱,实验多为验证性、演示性,缺少面向真实工程场景的综合设计项目,学生动手能力、系统调试能力、创新设计能力培养不足[9];第四,评价方式单一,以期末笔试为主,难以全面衡量工程实践、团队协作、问题解决与创新创造能力;第五,课程思政融入浅表化,缺少与硬件安全、工程伦理、芯片自主、国家战略相结合的深度融合点[10]。

2.2. 研究意义

本研究从教学改革创新与人才能力提升两个维度展开,兼具理论价值与实践意义。

(1) 教学改革意义:丰富课程群项目式建设范式以三门关联核心课为整体,构建跨课程、递进式、一体化项目式课程群,突破单门课程项目化局限,形成项目设计协同、教学实施协同、评价反馈协同的“三层三协”模式,拓展新工科背景下计算机类项目式课程的理论内涵与实施路径,为同类高校课程群项目化改革提供可复制、可推广的范式。

(2) 人才培养意义:提升学生知识整合与工程实践能力以硬件系统项目为主线,打通软件编程、逻辑建模、硬件原理之间的知识壁垒,帮助学生建立完整计算机系统思维。以 Cache 地址映射等工程案例强化训练,提升学生逻辑分析、软硬件协同设计、问题解决与团队协作能力,培养契合国家战略与行业需求的高素质硬件创新人才,增强学生专业竞争力与职业发展潜力。

3. 计算机硬件系统综合创新实践项目式课程群

针对上述问题,课程组探索并实践了计算机硬件系统综合创新实践项目式课程群,该项目以深化计算机类专业新工科人才培养改革为导向,协同《C/C++程序设计》《离散结构》《计算机组成原理》三门课程构建进阶式课程组项目,以计算机硬件系统创新实践为主线,借助课程组综合知识图谱,理清知识点逻辑关系,按照反向设计正向实施的原则,探索并实践以计算机系统硬件核心设计为目标的综合创新实践项目式教学,项目内容层层递进,课程教学协同实施,构建了基于“三层三协”的课程组项目式教学体系,培养计算机类专业学生的程序设计、算法设计和硬件设计能力。

课程组核心项目组成如下表 1 所示。

3.1. 课程建设概况

整个项目由综合项目、分项目和子项目三层组成,分项目横向关联共同完成计算机硬件核心部件的

Table 1. Advanced teaching contents of project-based curriculum group**表 1.** 项目式课程组进阶教学内容

综合项目	分项目名称	《C/C++程序设计》子项目	《离散结构》子项目	《计算机组成原理》子项目	项目连续知识
计算机综合 创新实践	数据表示基础项目	C 语言数据类型优化与选用实践	数据表示方法和逻辑关系分析	数据硬件表示及存储机制	数据表示
	运算器项目	运算器软件模拟与实现	运算器逻辑分析与设计	运算器硬件模拟与实现	运算实现
	存储器项目	信息存储与读取系统设计及实现	存储器逻辑模型构建	存储器地址映射的设计与实现	存储管理
	指令系统与 CPU 项目	简易指令集设计与实现	指令分析与逻辑模拟	指令系统和 CPU 的设计与实现	指令设计与实现

设计, 子项目通过共同的知识链条纵向贯通三门课程的知识学习, 分项目和子项目共同构成矩阵式项目课程。在项目实施过程中, 《C/C++程序设计》为项目实施提供编程基础, 帮助学生掌握实现算法和逻辑的语言; 《离散结构》为项目实施提供数学基础, 帮助学生奠定算法设计和数据结构基础理论; 《计算机组成原理》则为项目提供硬件架构和原理基础, 帮助学生完成计算机系统硬件核心的完整实施。三门课程紧密联系、相互支撑, 贯穿“软件模拟→逻辑设计→硬件实现”, 涵盖计算机科学从底层到高层、从硬件到软件、从理论到实践的完整知识链条, 全面提升学生的专业实践与创新能力, 课程组项目基于知识链条的知识图谱如图 1 所示。

3.2. 课程的设计理念

课程组贯彻“以学生为中心, 项目引导为主线, 工程实践为导向, 协同实施, 多元评价, 持续改进”的课程设计理念, 构建基于“三层三协”的课程组项目教学体系, 培养学生的工程实践能力、知识整合能力、复杂问题解决能力、团队协作能力和自主学习能力, 课程设计理念如图 2 所示。

以学生为中心, 围绕“软件模拟→逻辑设计→硬件实现”的知识认知逻辑设计项目, 从学生学习角度进行知识点架构, 以学生为主体开展项目实施和评价, 以自主学习为主完成课程学习;

以创新实践项目为引导, 打破课程壁垒, 设计了以“数据表示”基础, “存储器、运算器、控制器”三大核心部件 4 个知识链的综合知识图谱, 构建计算机硬件核心设计与实现的学习体系;

以工程实践导向学习过程, 教师发挥引导作用, 帮助学生完成运算、存贮和指令等内容的自主型、高阶性学习和实践综合性项目, 鼓励提出创新性解决方案;

以协同理念贯穿项目设计、实施和评价, 课程组教师以知识链为主线协同完成分项目的设计, 学生协同完成各子项目的学习、实践, 师生协同完成项目的学习评价, 同时协同软硬件教学资源保证课程的有效实施;

强化课程思政的融入, 结合课程特点, 将时代责任、使命担当以及国家安全观内容有效融入, 探索主客观结合的思政目标评价方式, 在项目报告中增加工程伦理反思章节, 并将其纳入评分体系;

效果导向、多元化课程评价, 既关注项目最终成果, 也重视学生运用程序设计、逻辑设计以及算法设计等解决问题的过程表现和创新能力。多元综合评价包括: 阶段性汇报评价考察专业知识和逻辑表达能力, 团队内部评价考察团队协作能力, 团队互评价考察沟通和知识迁移能力, 项目文档评价考察专业知识和文档撰写能力, 项目验收评价考察专业技术能力和综合能力, 项目发布模拟评价考察学生实战工程能力;

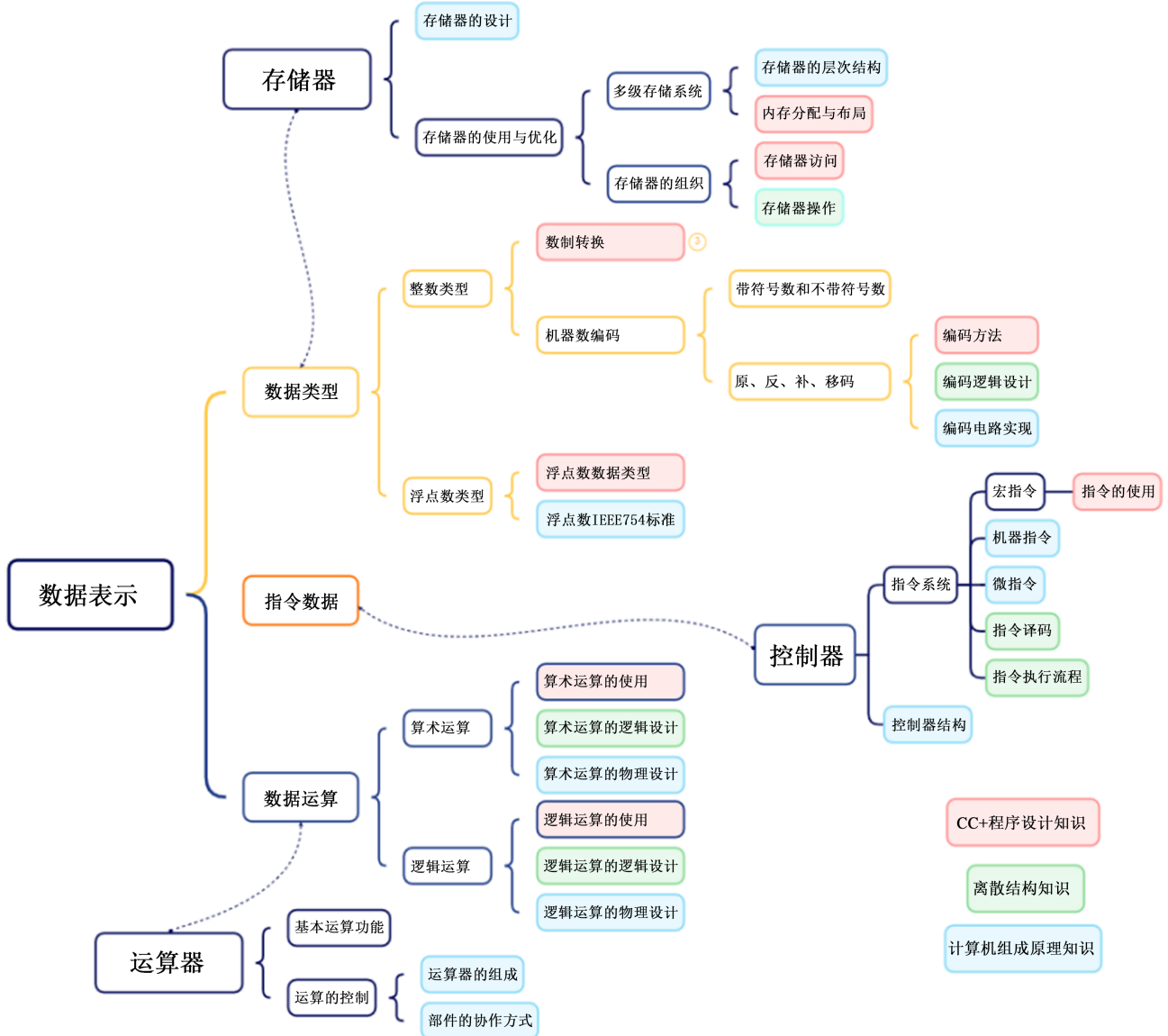


Figure 1. Knowledge graph of the course group project
图 1. 课程组项目知识图谱

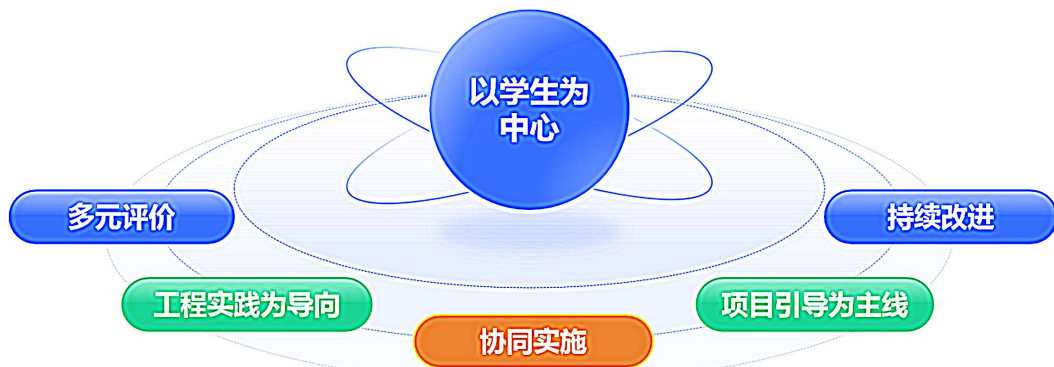


Figure 2. Curriculum design philosophy
图 2. 课程设计理念

确保课程持续改进，课程组建立沟通机制，定期开展教研活动，根据评价结果和教学质量反馈，及时调整和优化项目内容与实施方法。

3.3. 课程特色

(1) 以学生为中心，强调实践、探究与创新

敢于给学生“压担子”，从项目选题、制定计划、解决问题、展示成果以及评价等环节发挥学生的主体地位；学生需要通过编写代码、建立模型以及搭建电路等实践手段完成项目；鼓励学生通过查阅资料、团队讨论等探究学习，创新性解决问题。

(2) 以知识链条为主线，构建矩阵式课程项目

课程组基于“软件模拟→逻辑设计→硬件实现”知识认知逻辑，设计“一基础三核心”的四个知识链条，反向设计教学过程，构建了横向关联、纵向贯通的矩阵式课程项目。

(3) 以效果为导向，强调过程性评价与反思

课程组项目重视学生在项目中的过程表现，既评估团队的整体表现，也关注学生的个人贡献；引导学生进行阶段反思，培养自我管理能力和终身学习能力；教师根据教学反馈，及时调整和优化项目内容与实施方法，确保持续改进。

3.4. 课程创新点

课程组式项目，课程之间的协同教育教学是至关重要的。课程组采用项目设计协同、课程实施协同、评价反馈协同的“三个协同”课程模式，如图3所示。

项目设计协同：以“软件模拟→逻辑设计→硬件实现”为主线构建一体化课程知识图谱，梳理清楚课程、知识点之间的关系；基于此结合工程场景构建矩阵式三级课程项目，保证了课程组项目设计的有效性和合理性；

课程实施协同：教师合理引导，注重项目的整体性和连续性；关注课程间学生分组的延续和动态调整；同时做好教学资源的统一协调，保证了课程实施效果；

评价反馈协同：课程组协同统一评价标准；协同培养学生综合能力；定期开展集体教研，根据反馈及时调整和优化项目内容与实施方法，确保课程持续改进。

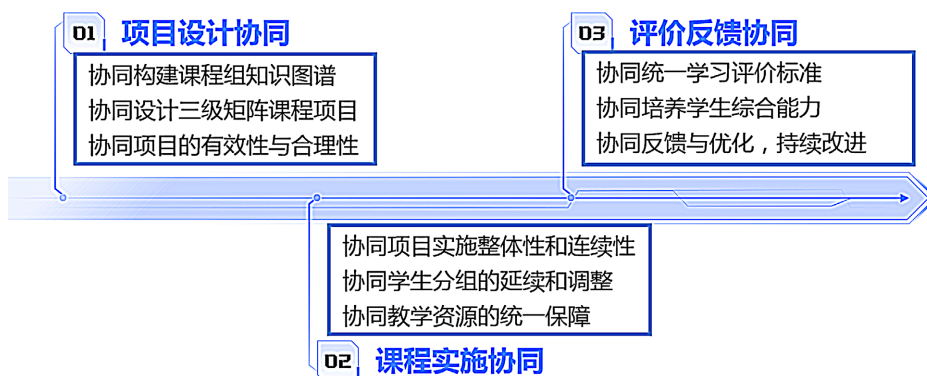


Figure 3. Three synergies of the course group project

图3. 课程组项目的三个协同

3.5. 典型教学案例：Cache 地址映射教学设计

以存储器项目中 Cache 地址映射为核心案例，融合三门课程知识，采用导入、讲授、案例、研讨、

总结教学流程。

课程导入：回顾 Cache 作用，以 GPU 缓存、处理器缓存等工程场景引出地址映射的重要性。

原理解释：讲授直接映射、全相联映射、组相联映射的地址划分、映射规则与优缺点。

课程思政：结合存储系统故障案例，强化工程安全与责任意识。

案例计算：给定 Cache 与主存参数，完成地址格式划分与映射计算，强化实操能力。

小组研讨：围绕不同场景映射方式选择展开讨论，提升工程决策能力。

总结作业：梳理核心要点，布置优化设计类拓展任务。

4. 课程的建设成效

4.1. 学生学习效果

通过该课程的学习，打破课程壁垒，知识体系融会贯通，课程考试成绩不同程度整体提升。面对复杂问题的项目，实践应用能力提高，学科竞赛成绩斐然，近三年本专业学生在各类型学科竞赛中获得优异成绩，荣获国家级、省部级项目 60 余项。沟通表达能力、团结合作能力提升，学生综合素养明显增强。

学生的学习兴趣有效提升，项目式学习让学生成为项目完成的主体，激发了学习热情，主动探索知识的积极性明显增强；知识关联理解得到深化，课程联动学习让知识更具连贯性，学生真正理解各课程内在联系，帮助学生建立更加完整的计算机视角，为后续的学习奠定了坚实的基础；课程满意度明显提高，通过学生问卷调查反馈，课程组教师授课水平、授课质量等满意度逐年提高，历年评教名列前茅，课程组教师连续多年获得教学质量奖。

4.2. 教师教学成果

(1) 课程组教师教学水平有效提升，主讲课程获得天津市一流本科课程、天津市课程思政示范课程等，同时为团队获得天津市教学成果奖做了有力支撑。

(2) 课程教师总结经验发表相关教改论文 4 篇，依据项目式教学内容开展教材建设，出版教材 2 部。

5. 结束语

本文提出的“三层三协”计算机硬件系统综合创新实践项目式课程，通过 C/C++ 程序设计、离散结构、计算机组成原理三门课程深度协同，以真实硬件项目为主线，以 Cache 地址映射为典型教学案例，有效解决传统硬件课程碎片化、理论实践脱节、抽象难理解等痛点。课程实现知识、能力、素质三位一体培养，学生工程创新能力、系统思维与团队协作能力显著提升，教学成果丰富、推广价值突出。未来将继续深化虚拟仿真、AI 赋能、产教融合，持续完善项目式教学体系，为国家培养高素质计算机硬件人才提供更强支撑。

基金项目

本论文得到了天津市高等学校本科教学质量与教学改革研究计划重点项目——新工科背景下基于学科交叉的“双碳”特色本科人才培养创新与实践(项目编号 A251006901)资助。

参考文献

- [1] https://hudong.moe.gov.cn/srcsite/A08/moe_742/s3860/201810/t20181017_351890.html, 2018-10-08.
- [2] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017, 65(3): 1-6.
- [3] 陆国栋, 李拓宇. 新工科建设发展的路径思考[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 20-26.
- [4] 柴艳峰, 张睿, 张蕾, 等. 基于开源项目的计算机组成原理课程“嵌入式”教学模式探索[J]. 计算机教育, 2024(2):

164-168.

- [5] 谈超, 吉根林. 新工科背景下“计算机系统基础”课程实验环节教学改革与实践[J]. 计算机应用文摘, 2023, 39(23): 16-20, 24.
- [6] 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [7] 刘刚, 罗秋明, 何文锋. 面向系统能力培养的计算机系统类课程改革[J]. 计算机教育, 2025(6): 163-167.
- [8] 李娟. 现代教育技术融入“离散数学”任务驱动教学探讨[J]. 教育教学论坛, 2025(6): 133-136.
- [9] 张颖, 刘子杰. 新工科背景下计算机组成原理课程混合式教学模式探索[J]. 微型计算机, 2025(6): 184-186.
- [10] 郑麟, 周腾, 蔡玲如, 等. 计算机硬件基础课程的思政元素挖掘与融入研究[J]. 计算机教育, 2021(8): 61-65.