

基于成果导向教育（OBE）理念的操作系统内核开发教学研究*

申丰山* *

郑州大学计算机与人工智能学院，郑州
450001

申佰川

哈尔滨工程大学船舶工程学院，哈尔滨
150001

摘要 在基础软件自主研发能力培养意识薄弱、相关知识与方法积累不足的现实下，开展操作系统内核开发实验教学面临较高挑战。本文基于成果导向教育（OBE）理念，提出并实施了一套以操作系统内核开发为核心的实验教学改革方案。该方案通过采用开源的 rCore 教学内核，构建“基础训练-综合实验-创新项目”三阶递进式作业体系，并将课程考核中理论与实验成绩占比由 7:3 调整为 5:5。在郑州大学“卓越工程师班”以及软件工程班（230 人）和国际学院班（150 人）的教学实践表明，本方法能有效激发学生理论学习的自主性，显著提升系统能力与学业表现，为操作系统课程改革提供了具有推广价值的实践路径。

关键字 OBE，操作系统实验，内核开发实践，理论教学，高挑战性

OBE-Based Teaching Research for Operating System Kernel Development *

Fengshan Shen

School of Computer Science and Artificial Intelligence
Zhengzhou University,
Zhengzhou 450001, China;
iefsshshen@zzu.edu.cn

Baichuan Shen

College of Shipbuilding Engineering
Harbin Engineering University
Harbin 150001, China

Abstract—Given the lack of awareness regarding the cultivation of independent software development capabilities and the insufficient knowledge and methods in this field, conducting experimental teaching on operating system kernel development faces considerable challenges. Based on the Outcome-Based Education (OBE) concept, this paper proposes and implements a reform plan for experimental teaching centered on operating system kernel development. By adopting the open-source rCore teaching kernel, the plan establishes a three-tier progressive assignment system consisting of "basic training — comprehensive experiments — innovative projects," and adjusts the course assessment ratio of theory to experiment from 7:3 to 5:5. Teaching practice in Zhengzhou University's "Excellent Engineer Class" as well as the Software Engineering Class (230 students) and the International College Class (150 students) demonstrates that this method effectively stimulates students' autonomy in theoretical learning, significantly improves their system development capabilities and academic performance, and provides a scalable and practical pathway for the reform of operating system courses.

Keywords—OBE, Operating System experiment, kernel development practice, theoretical teaching, high challenge

1 引言

成果导向教育（Outcome-Based Education，简称 OBE）^[1-3] 是一种以成果为目标导向的教育模式，亦称能力导向教育、目标导向教育或需求导向教育^[15-17]。该理念强调以学习成效作为教学质量评价的根本标准，其核心目标在于提升学生的创新实践能力，实现高阶实践成果。

操作系统作为计算机专业的核心课程，学分占比大，在课程体系中居于重要地位。该课程教学难度较高，学生普遍反映学习体验不佳——由于操作系统内部结构抽象晦涩，学生在实际应用或实验时往往将其视为“黑箱”，难以深入探究其运行机理。为此，部分高校通过让学生亲历操作系统内核开发过程来深化理解。

操作系统理论知识体系主要基于 UNIX/Linux 类操作系统的设计思想及概念形成，熟悉 Linux 原理及应用将为操作系统理论学习提供重要的感性认识。操作系统理论讲述操作系统内部结构与工作原理，包括

*基金资助：本文得到郑州大学教学改革研究与实践项目(2024-CSJG-A003)资助

**通讯作者：申丰山 iefsshshen@zzu.edu.cn。

进程管理、进程同步与互斥、进程通信、存储管理、设备管理、文件管理等核心内容。操作系统实验则侧重于操作系统应用,包括操作控制命令、批处理接口和编程接口等。操作系统应用实验对于理解操作系统外部特征,培养操作系统应用人才具有十分重要的价值。但是操作系统应用实验止步于操作系统接口,并未深入探究操作系统内部结构和工作流程,不是对操作系统理论的实践和验证,未与操作系统理论相呼应^[2,6,13]。学生对操作系统理论的学习停留在概念、原理的记背上、考试上,对未经亲身实践验证的理论内容似懂非懂,缺乏学习热情和兴趣^[4-7,11]。学生对实验的兴趣强于理论学习的兴趣,实验成绩也好于理论成绩。操作系统应用实验对提升操作系统理论学习兴趣的帮助并不理想。

持续改进是提升教学质量、提高学生满意度的常态机制,也是成果导向教育(OBE)核心理念。因此,施行操作系统内核开发实践已成为新的改革方向——通过内核开发实践,可使抽象的操作系统原理具象化,从而深化学生的理论认知。

2 操作系统内核开发实验教学改革难点的突破

操作系统原理教学需要与操作系统构造实验相结合。这类实验从裸机或虚拟机出发,逐步构建功能由少到多的简易操作系统,其构建过程模拟了操作系统从基础到高级的演进历程。在此过程中,学生通过实践掌握操作系统的核心概念与原理,从而深入领悟其设计思想。操作系统构造实验(亦称内核开发实验)具有较高难度与要求。尽管Linux是开源操作系统,但完整复现其构建过程仍具挑战性。近年来,随着操作系统国产化进程,rCore、uCore等教学内核应运而生并广受推崇。国内顶尖高校率先开展教学实践,通过研讨会、试点项目及线上推广等形式,向越来越多院校分享成功经验与教学资源,为操作系统教育的持续改进创造了条件。郑州大学选择rCore作为操作系统内核开发实践课程的基础内核,已在“卓越工程师班”成功完成一轮教学实验,成效显著:学生参与热情高涨,实验项目完成质量优异,更有学生在全国操作系统竞赛^[14]中荣获二等奖。内核开发实践还激发了学生的理论学习兴趣,使得理论成绩与整体通过率显著提升。教学成功的关键在于因材施教,因此本文的教学方法始终遵循适应性原则。

3 操作系统内核开发实践教学资源的遴选标准

rCore 内核开发实践教学资源具有以下优势:

其一,资源完全开源且在线可获取,学习者可自由使用不受限制;

其二,内容体系完整,实现理论与实践有机融合,各理论章节均配套原理讲解、实验指导和进阶项目文档,形成系统化学习路径;

其三,经过大量用户实践验证,众多学生基于该内核完成操作系统项目并在操作系统竞赛中取得佳绩,充分证明其教学有效性;

其四,支持持续更新与个性化定制,使用者可遵循开源协议根据教学科研需求,灵活调整内核功能与教学内容。

4 操作系统内核开发实践教学方案与实施

成果导向教育(OBE)强调教学过程的产出成果,这要求教师必须在教学启动前明确界定预期学习成效,继而逆向设计教学内容与方法,确保学生最终达成既定目标,实现能力发展的顶峰体验。操作系统课程的核心成果是成功构建微型操作系统,理论知识与应用实验皆为达成该目标的关键支撑。因此,在制定操作系统内核开发实践教学方案时,要在OBE理念指导下进行,考虑如下关键事项。

4.1 操作系统应用实验、内核开发实验与理论教学的关联性界定

需明确界定操作系统应用实验与内核开发实验的层级关系。掌握操作系统知识的有效路径是:先通过应用实验把握其外部交互特性,再借助内核开发实验探究其内部运行机制。这种“从使用到开发、由外至内”的递进式学习模式符合“实践-认识-再实践”的认知发展规律。

内核开发需依托现有操作系统(如Linux)的基础功能支撑。在代码解读与编程实践中,开发者往往需要借助各类辅助工具,这为Linux应用实验提供了极具教学价值的实践项目来源。

内核开发实验兼具操作系统理论的阐释功能与实践载体双重属性,与理论教学形成深度耦合。操作系统应用实验与内核开发实验共同构建的能力体系,培养出社会亟需的两种不可替代的核心能力。

4.2 理论教学、应用实验与内核开发实验的课时配置及任务设计

内核开发作为一项耗时且极具挑战性的复杂软件工程项目,为确保教学成效,需尽早启动开发流程,预留至少两个月的完整周期用于项目设计与实现。具

体功能模块的数量与复杂度需根据实际可用课时、学生接受度进行科学配置。

内核开发需掌握新的编程语言与新的处理器架构等前置知识体系，这些知识可通过“线上课程学习+资料自学+线下讲授+实践作业”的混合式学习模式获取。课堂教学将操作系统核心概念与内核代码实现相融合，通过代码解析、内核操作任务、机制分析及概念验证等多元化作业设计，实现理论认知与工程实践的深度融合。

作业频次及难度要与学生知识掌握进度相适应，科学控制其认知负荷。当学生通过训练型作业掌握一定数量的 Linux 命令与 Shell 脚本后，以少量综合性项目实验替代基础训练，这种渐进式教学设计旨在系统提升学生的知识迁移能力与新技术习得水平。

在综合实验设计中，将具有显著实践价值的大型实验合理分布至整个学期，既保障学生可自主规划进度，又能确保作品质量。理论教学需主次分明，作业聚焦操作系统核心概念与原理的掌握，减少对实验时间的挤占。

在此基础上，通过思政作业引导学生学习理解成果导向教育（OBE）理念，促进其对 OBE 教学体系内容与方法的认知认同^[10]。

4.3 理论作业、应用实验与内核开发实验的内容设计与时序规划

教师需系统设计理论作业、应用实验与内核开发实验三类任务的内容体系与实施时序，其内容密度与频次应与课时配置相适宜。通过构建核心知识清单^[12]，可有效约束理论作业时间占比，促使学生聚焦项目驱动下的关键实验知识与技能培养。所有作业设计均需遵循成果导向教育（OBE）原则^[9-10]，确保教学成效。具体实施路径包括：

- 1. 组织课内、课外研讨讲座，增进学习交流，拓展课外知识，开阔视野。收看操作系统技术培训公开讲座，由学习进度快、成绩优异的学生担任培训讲师，创造互助学习机会。
- 2. 通过课程思政作业融入 OBE 理念解析，帮助学生理解并认同 OBE 教学体系的科学性与先进性。
- 3. 建立“基础训练-综合实验-创新项目”的三阶段递进式作业体系，实现能力梯度培养。
- 4. 采用“线上自主学+线下研讨做”的混合式实施模式，优化时间资源配置。

4.4 基于在线学习系统的作业发布机制

在线学习系统支持学生自主提交作业并设定个人截止期限，严格遵循成果导向教育（OBE）的核心理念。该系统强调作业完成质量而非耗时长短，既允许补交延期作业，又保障学生可按个性化进度完成高质量作品。此外，系统还将小型评估实验进行前置规划，实现全学期分布式部署与阶段性完成。

4.5 内核开发实验教学备课规范

做好实验备课，主要是内核开发实验备课，探索内核代码分析理解方法，在实验课或理论课的合适章节，演示内核代码分析理解方法，指导学生理解、改进、重建内核代码。

5 操作系统内核开发实践教学效果评估

本教学实验 2024 年秋季首次在 33 人的“卓越工程师班”完成，该班学生将在大学四年级进行为期一年的实习后就业。这些学生普遍具备较强的实践能力和较高的工程项目热情。2025 年春季学期，该教学实验在两个大班开展：一个是计算机学院 230 人的班级，另一个是国际学院 150 人的班级。

卓越工程师班的操作系统实验和操作系统原理是一门课的两部分内容，合并计分，实验学时为 32 学时，原理学时为 64 学时。学时相对充分。在卓越工程师班比较完整地实施了内核代码运行、分析、理解与功能扩充改造实验项目。之前各届课程理论成绩与实验成绩的占比设定为 7:3，在引入操作系统内核开发实践教学内容后，实验、实践内容和难度显著增加，地位提高，学习付出增加，理论与实验成绩比例调整为 5:5。

课堂观察显示，学生出勤率显著提升，对理论知识的理解意识和学习热情也明显增强。与上一届相比，各项学业指标均有显著改善。最近两届学生的成绩对比情况如图 1 所示。

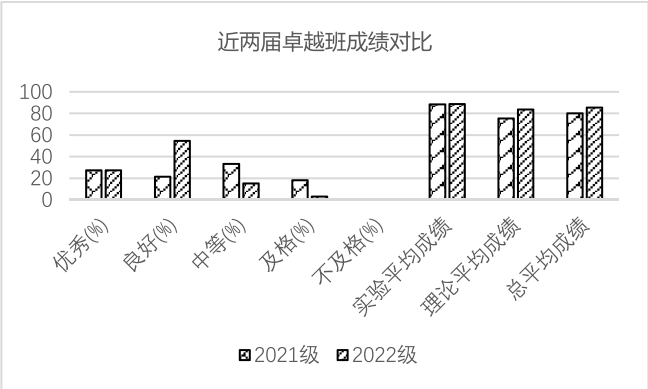


图 1 近两届卓越班学生成绩对比

由图 1 可见，卓越班优秀率保持稳定，良好率则大幅升高 33.34%。尽管实验难度显著增加，但平均实

验成绩仍然提高 0.37 分,理论考试成绩提高 8.31 分,课程总平均分提高 5.61 分。这些数据表明,新的课程教学改革有效帮助学生发挥学习优势。实验成绩与理论成绩的相关系数提升 0.173,印证了内核开发实践对深化理论认知的促进作用。其中一名学生参加全国操作系统设计赛区域赛获得二等奖。本届内核开发实验项目的完成时间较往年延长近一个月,充分体现了该实践环节的高挑战性特征。

线上教学评价结果如表 1 所示。本次教学满意度综合评分为 96.4 分,较上一届提升 2.7 分。

表 1 本课程在线教学评价得分(与院系及全校平均数据对比)

年级	本课程教评分	院平均分	全校平均分
2021 级	93.7%	95.56%	96.31%
2022 级	96.4%	95.34%	96.24%

本次教学改革实验表明,开展操作系统内核开发实践能显著提升学生探究系统复杂性的兴趣,有效帮助其认识理论知识的价值。

2025 年春季软件工程班操作系统实验和操作系统原理是两门独立计分的课程。其中实验学时为 24 学时,原理学时为 48 学时。实验学时和原理学时较卓越班分别减少 12 学时和 16 学时。国际学院教学班的操作系统实验和操作系统原理是一门课的两部分内容,合并计分,实验学时为 12 学时,原理学时为 48 学时。实验学时和原理学时较卓越班分别减少 24 学时和 16 学时。由于国际学院实验学时占比较少,相应减少实验成绩占比为 30%,原理成绩占比 70%。

这两个教学班存在如下两个变化因素:一是在实验学时较少的情况下新增了挑战性较高的内核实验,客观上加剧学习困难,二是软件工程教学班为扩招后的首届教学班,学生基础、班级学风等均较陌生。教学结果不确定性增加。内核实验作业进展缓慢、提交率较低的日常自然反馈增加了对教学效果的担忧。显而易见,影响学生完成率和新知识接受度的关键因素包括:对 Rust 语言和 RISC-V 架构的陌生感、开发环境搭建与使用困难(易出现错误)以及内核代码理解障碍。

基于教学观察,及时做出内容及进度调整:内核分析、运行作业的任务量适当缩减,仅完成版本较低、功能简单、代码量相对较少的前 4 章内核分析、运行即可,内核改造、功能扩展作为自由探索项目,实验核心项目仍以 Linux 应用开发为主。内核实验的考核在作为最终成果的综合实验设计大作业中以编程分析内核源代码结构的项目来进行。

近两届软件工程班操作系统实验成绩对比如图 2 所示。

由图 2 可见,软件工程班操作系统实验成绩优秀率、良好率以及实验平均成绩波动幅度很小。在内容和难度增加,学时没有增加的情况下,成绩未出现大的波动,尤其是没有出现明显下滑的情况。实现了内容衔接、教学方法的平稳过渡。

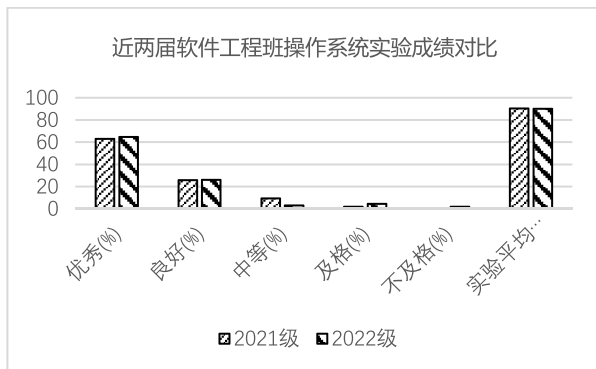


图 2 近两届软件工程班学生操作系统实验成绩对比

近两届软件工程班操作系统原理成绩对比如图 3 所示。

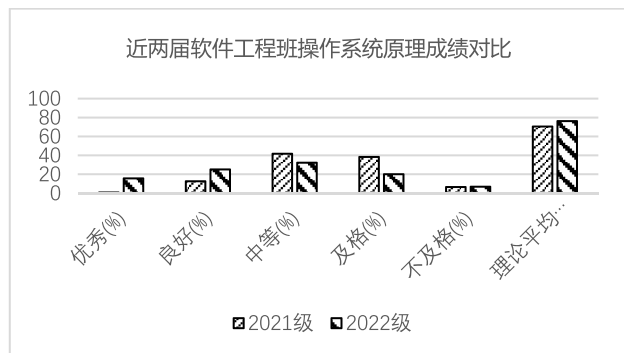


图 3 近两届软件工程班学生操作系统原理成绩对比

由图 3 可见,软件工程班操作系统原理成绩优秀率、良好率和理论课程平均成绩均显著升高,分别升高 14.99%、12.63%和 5.72 分,表明内核实验促进了学生对操作系统理论内容的深刻、准确理解。

近两届国际学院操作系统成绩对比如图 4 所示。

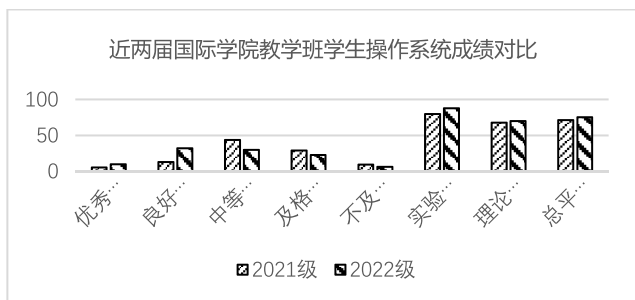


图 4 近两届国际学院教学班学生操作系统成绩对比

由图4可见,国际学院操作系统成绩优秀率、良好率、实验平均成绩、理论课程平均成绩和总平均成绩均显著升高,分别升高4.16%、19.22%、7.92分、2.53分和4.13分,表明国际学院学生对内核实验新内容接受度良好,课程新老内容衔接顺畅,内核实验促进了学生对操作系统理论内容的深刻、准确理解。

教学实验结果表明,内核实验在所有教学班均取得较为积极的效果。在学院现有条件下具备全面推行内核实验的可行性。在推行中需遵循OBE理念的持续改进原则,使不同学生各自达到自己的能力顶峰。

6 结束语

操作系统原理课程需要结合内核开发实践。通过探索、比较和评估各类教学资源,本文筛选出了操作系统内核开发实践教学工具,有效解决了该领域实验教学改革的难题。基于OBE理念,以成果为导向,设计了操作系统内核开发实践教学方案,并首次在卓越工程师班开展教学实验。尽管课程内容与难度显著提升,但是学生仍然成功完成了操作系统内核开发项目,提升了应对复杂项目的能力,激发了对理论研究的兴趣。

但内核实验是一项具有系统工程特性的复杂的教学内容,学习门槛远高于常规内容,其教学效果易受学校、院系、班级、教师、学生等多方面因素的影响。必须根据学生学情动态调整教学内容,不可简单复制经验——因材施教始终是教育的根本原则。

参考文献

- [1] 李志义. 解析工程教育专业认证的成果导向理念[J]. 中国高等教育, 2014(17): 7-10.
- [2] 赵伟华, 刘真, 贾刚勇. OBE教育模式在操作系统实践环节的应用研究[J]. 福建电脑, 2016(3): 82-83.
- [3] 周军海. 新工科背景下基于OBE教育模式的操作系统教学改革研究与实践[J]. 软件工程, 2020, 23(4): 51-53.
- [4] 黄金洲, 李勇, 徐德刚. 新工科背景下基于OBE的操作系统原理教学研究[J]. 电脑知识与技术, 2022, 18(22): 128-131.
- [5] 张静, 王丽. 新工科背景下“PAD+OBE”模式在操作系统课程教学中的应用[J]. 现代职业教育, 2024(24): 109-112.
- [6] 张捷, 王涛春, 郭良敏, 等. 融合OBE理念和 $\mu C/OS$ 的操作系统实验课教学改革探究[J]. 计算机教育, 2024(7): 186-192.
- [7] 张文俊, 刘辉, 冯凯, 等. 基于OBE理念的线上线下混合教学模式探索与实践——以“机器人操作系统”课程为例[J]. 教育教学论坛, 2024(47): 157-160.
- [8] 康燕萍, 黄鹏. 基于OBE理念的嵌入式系统实践教学改革的探索[J]. 科教导刊, 2024(21): 138-140.
- [9] 张志东. 基于OBE理念的课程目标达成评价体系研究——以Linux操作系统为例[J]. 创新创业理论与实践, 2024(11): 166-177.
- [10] 张秋红, 刘杨涛. 基于OBE理念的操作系统原理课程教学内容重组[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2021, 35(2): 107-112.
- [11] 赵敬, 张茂红. 基于OBE的操作系统课程教学探索与实践[J]. 齐鲁师范学院学报, 2023, 38(6): 14-21.
- [12] 梁正平, 朱泽轩, 王志强. OBE导向全程紧张的操作系统教学改革[J]. 计算机教育, 2018(6): 61-64.
- [13] 邱剑锋, 朱二周, 周勇, 等. OBE教育模式下的操作系统课程教学改革[J]. 计算机教育, 2015(12): 28-35.
- [14] 何施茗, 曹嵘晖, 徐梓桑, 等. 长沙理工大学对面向系统能力培养实践课程体系的改革和成效综述[J]. 计算机技术与教育学报, 2025, 13(1): 71-75.
- [15] 张宏森, 郭平. OBE理念下基于问题解决能力培养的教学改革实践——以“Linux操作系统”课程为例[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(4): 149-153.
- [16] 王玉. OBE背景下的师生学习共同体人才培养方式研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(1): 100-104.
- [17] 郭春丽, 林伟伟, 谢明玲. 基于OBE理念的课堂教学形成性评价研究与实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(4): 8-14.