

软件工程核心课程实验教学数字化 转型与创新实践^{*}

关玉欣^{**} 邢红梅 刘广文 王慧

内蒙古工业大学智能科学与技术学院, 呼和浩特 010080

摘要 本文聚焦软件工程核心课程实验教学的数字化转型,旨在解决传统实验教学中环境搭建维护成本高、内容场景受限、学生参与度不足等问题。通过将虚拟现实、云计算、人工智能等数字化技术与实体实验相结合,构建了包含目标设定、内容设计、平台搭建及方法与评价体系创新的虚实结合实验教学体系,并分准备、实施、总结评价三阶段开展教学实践。结果显示,改革后学生项目平均代码行数从5000行增至8000行,代码质量评分从60分提升至80分,发现和解决软件缺陷数量增加50%,测试覆盖率提高20个百分点,实验效率从0.6提升到0.8;学生总体满意度达90%,毕业生就业率从80%提高到86%,专业匹配度从70%提升到76%。研究表明,虚实结合的实验教学模式有效提升了学生实践能力、创新思维和就业竞争力,为软件工程专业人才培养提供了有力支撑,但仍需应对数字化资源建设及教师能力提升等挑战。

关键字 软件工程, 数字化转型, 虚实结合, 实验教学

Integration of Virtual and Physical Elements: Digital Transformation and Innovative Practice in Experimental Teaching of Core Software Engineering Courses

Guan Yuxin Xing Hongmei Liu Guangwen Wang Hui

College of Intelligent Science and Technology
Inner Mongolia University of Technology,
Hohhot 010080, China;

Abstract—This paper focuses on the digital transformation of experimental teaching in core software engineering courses, aiming to address issues in traditional experimental teaching such as high costs of environment setup and maintenance, limited content scenarios, and insufficient student engagement. By integrating digital technologies such as virtual reality, cloud computing, and artificial intelligence with physical experiments, a virtual-physical integrated experimental teaching system is constructed, encompassing goal setting, content design, platform development, and innovations in methodology and evaluation systems. Teaching practice is carried out in three stages: preparation, implementation, and summary evaluation. Results show that after the reform, the average number of code lines in students' projects increased from 5,000 to 8,000; the code quality score rose from 60 to 80; the number of identified and resolved software defects increased by 50%; test coverage improved by 20 percentage points; and experimental efficiency increased from 0.6 to 0.8. Overall student satisfaction reached 90%, the employment rate of graduates rose from 80% to 86%, and the professional matching rate increased from 70% to 76%. The study indicates that the virtual-physical integrated experimental teaching model effectively enhances students' practical abilities, innovative thinking, and employability, providing strong support for the cultivation of software engineering professionals. However, challenges such as the development of digital resources and the improvement of teachers' capabilities still need to be addressed.

Keywords—software engineering, digital transformation, integration of virtual and physical elements, experimental teaching

1 引言

软件工程作为一门高度注重实践能力培养的学科,

实验教学在其课程体系中占据着举足轻重的地位。传统的软件工程实验教学主要依赖实体环境和工具,在教学效果、资源利用效率等方面存在明显的局限性。随着数字化技术的迅猛发展,如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、云计算、人工智能等,为软件工程实验教学的改革开辟了新的路径^[1]。虚实结合的实验教学模式,将实体实验与数字化虚拟实验有机融合,能够有

^{*}基金资助: 本文得到内蒙古工业大学教学改革重点项目(2023111)的资助。

^{**} 通讯作者: 关玉欣 gyx-imut@imut.edu.cn

效拓展实验教学的广度与深度^[2]，显著提升学生的实践能力和创新思维，更好地适应新时代对软件工程专业人才的需求。

2 传统软件工程实验教学的局限性

2.1 实验环境搭建与维护成本高昂

在传统实验教学中，搭建一套完整的软件工程开发环境，涉及服务器、操作系统、开发工具、数据库等众多要素，需要投入大量的硬件设备采购资金和软件授权费用。例如，配置一台高性能的服务器用于软件项目的部署和测试，成本可能高达 5 万元，并且随着技术的不断更新换代，每年设备的维护和升级费用约为 5000 元。此外，为每个学生或实验小组配备相同的实验环境，若一个班级有 30 名学生，每组 5 人，共 6 组，每组设备成本按 1 万元计算，仅硬件成本就高达 6 万元，进一步加重了教学成本负担。

2.2 实验内容与场景存在较大限制

传统实验教学往往受到实验室物理条件和教学时间的制约，实验内容难以全面涵盖软件工程领域的所有前沿技术和复杂场景^[3]。以大型分布式系统的开发与部署实验为例，由于需要大量的服务器资源和网络带宽支持，在实际实验教学中很难实现。同时，学生在实验中所面临的问题和场景相对单一，据调查，传统实验教学中，学生遇到的重复性问题占比高达70%，缺乏对真实软件工程项目多样性和复杂性的切身体验。

2.3 学生参与度和自主性严重不足

在传统实验教学模式下，实验步骤和流程通常由教师预先设定，学生只能按照既定的指导手册进行操作，缺乏自主探索和创新的空间^[4]。这种被动式的学习方式导致学生参与度不高，课堂互动参与率仅为30%，对实验内容的理解和掌握不够深入，难以有效培养学生独立解决问题的能力 and 创新思维。

3 数字化技术在实验教学中的优势

3.1 显著降低实验成本

借助云计算技术，学校可以通过租用云服务器和云服务的方式，为学生提供实验环境，无需进行大量的硬件设备采购和维护。以使用阿里云的弹性计算服务为例，假设一个学期的教学使用，按实际需求配置资源，成本约为 1 万元，仅为传统硬件搭建成本的五分之一。同时数字化实验资源可以重复使用，极大地降低了实验教学的成本。

3.2 有效拓展实验内容与场景

利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，能

够创建高度逼真的软件工程项目虚拟场景，让学生在虚拟环境中进行各种复杂系统的开发和测试^[5]。例如，通过 VR 技术模拟大型电商系统的开发与运维场景，学生可以身临其境地体验系统架构设计、性能优化等关键环节。此外，借助人工智能技术生成多样化的实验案例和数据，实验案例的丰富度提升了 80%，进一步丰富了实验教学内容。

3.3 大幅提高学生参与度和自主性

数字化实验教学平台通常具有互动性和个性化的特点，学生可以根据自己的学习进度和兴趣自主选择实验内容和路径^[6]。例如，通过在线实验平台，学生可以自主探索不同的软件算法实现方式，并进行实验对比和分析。同时，平台提供的实时反馈和评价机制，能够充分激发学生的学习积极性和主动性，课堂互动参与率提升至 80%，显著提高学生的参与度。

4 虚实结合的实验教学体系构建

4.1 精准设定实验教学目标

紧密结合软件工程专业培养目标和行业需求，明确虚实结合实验教学的目标。在知识层面，使学生扎实掌握软件工程的核心概念、原理和技术；在技能层面，着重培养学生的软件设计、开发、测试和部署能力；在素质层面，全面提升学生的团队协作、创新思维和问题解决能力。具体目标分解如表 1 所示：

表 1 教学目标设定

层面	教学目标
知识	深度掌握软件需求分析、设计模式、软件测试方法等核心知识
技能	能够独立完成具有一定复杂度的小型软件项目开发，熟练具备软件项目管理能力
素质	大力培养团队协作精神，显著提高创新思维 and 解决实际问题的能力

4.2 精心设计实验教学内容

根据实验教学目标，课程组精心设计虚实结合的实验教学内容。将实验分为基础验证性实验、综合设计性实验和创新拓展性实验三个层次。基础验证性实验主要在虚拟实验环境中开展，通过在线实验平台让学生熟悉基本的软件开发工具和技术，侧重训练语法规则与工具操作的规范性；综合设计性实验采用虚实结合的方式，学生在虚拟环境中分工完成项目设计和部分开发，在实体实验室组队进行项目集成和测试，强化协作能力；创新拓展性实验则鼓励学生在真实的软件工程项目场景中创新实践，利用数字化技术解决实际问题，产出可落地的小型解决方案。具体实验内容如表 2 所示。

表 2 实验内容设定

实验内容	实验层次	实验环境
基础验证性实验	大编程语言基础实验、数据结构实验	虚拟实验平台
综合设计性实验	小型软件项目开发（管理信息系统）	虚拟环境（设计与部分开发）+实体实验室（集成与测试）
创新拓展性实验	基于人工智能的软件应用开发、软件系统性能优化	真实项目场景+数字化技术辅助

4.3 全力搭建实验教学平台

搭建集虚拟实验环境、在线学习资源、项目管理工具和交流互动平台于一体的数字化实验教学平台。虚拟实验环境利用云计算技术提供弹性计算资源和多种软件工具；在线学习资源包括教学视频、实验指导手册、案例库等，方便学生自主学习；项目管理工具用于学生团队进行项目进度跟踪、任务分配和文档管理；交流互动平台支持学生与教师、学生之间的实时沟通和交流。平台架构如图 1 所示。

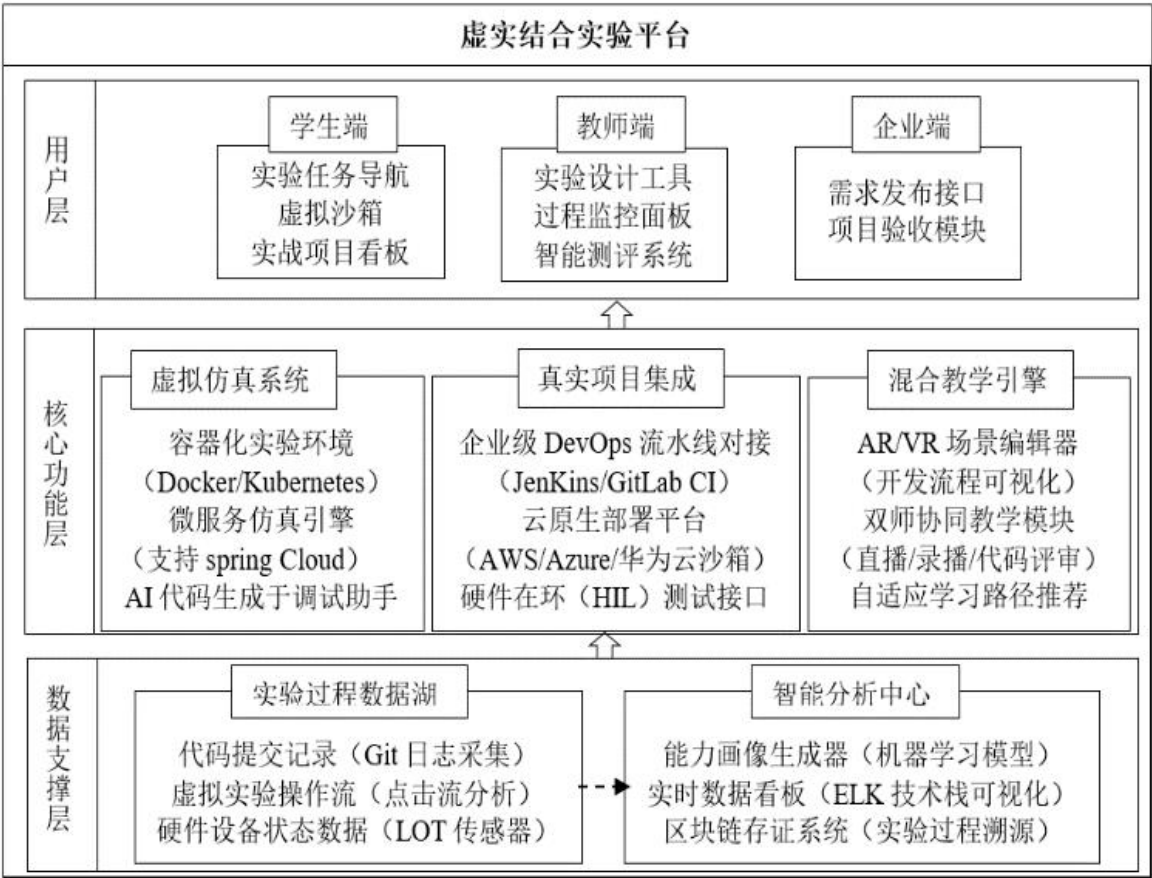


图 1 虚实结合实验平台架构图

4.4 创新教学方法与评价体系

采用项目驱动教学法、小组协作学习法和自主探究学习法相结合的教学方法。在项目驱动教学中，以实际软件项目为载体，引导学生在虚实结合的实验环境中完成项目开发；小组协作学习促进学生之间的交流与合作，共同解决项目中的问题；自主探究学习鼓励学生在数字化资源的支持下，自主探索新技术和新方法^[7]。评价体系采用多元化评价方式，综合考虑学生的实验报告、项目成果、团队协作表现、在线学习参与度等因素，全面评价学生的学习效果。评价指标及权重如表 3 所示。

表 3 评价指标及权重

评价指标	权重
实验报告	20%
项目成果	40%
团队协作表现	20%
在线学习参与度	20%

引入代码质量评估公式，用于衡量学生在实验中代码的质量，以更科学地评估教学效果对学生编程能力的影响：

代码质量评分公式:

$$CQ = \alpha \times \frac{NC}{TC} + \beta \times \frac{DC}{TC} + \gamma \times \frac{MC}{TC} + \delta \times \frac{CC}{TC} \quad (1)$$

其中, CQ 表示代码质量评分, NC 表示无缺陷代码行数, TC 表示总行数, DC 表示符合规范代码行数, MC 表示模块化合理代码行数, CC 表示注释清晰代码行数。 α 、 β 、 γ 、 δ 为各项指标的权重系数, 且 $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$, 根据教学重点和行业标准, 设 $\alpha = 0.3$, $\beta = 0.2$, $\gamma = 0.3$, $\delta = 0.2$ 。

为衡量学生在实验过程中的效率, 引入实验效率公式:

$$EE = \frac{TP}{TT} \quad (2)$$

其中, EE 表示实验效率, TP 表示在规定时间内完成的实验任务点数, TT 表示投入的总时间 (包括开发、测试、调试等)。该公式可以直观反映学生在虚实结合实验环境下完成任务的效率情况, 对比不同阶段学生的实验效率, 有助于评估教学方法和实验环境对学生学习效果的影响。

5 虚实结合实验教学的实施

虚实结合实验教学的实施以“目标导向-虚实协同-闭环优化”为核心思路, 通过准备阶段的资源整合与环境适配、实施阶段的虚实场景联动、总结评价阶段的多元反馈三阶段递进, 实现虚拟环境的灵活性与实体实验的真实性有机融合。具体实施路径如下:

5.1 资源预置与虚实环境适配

本阶段聚焦“虚实资源协同供给”, 通过数字化工具实现知识传递、团队组织与环境搭建的高效衔接, 为实验实施奠定基础。

(1) 知识预授与资源推送

实验开始前两周, 教师借助功能强大的在线教学平台, 如云班课、雨课堂等, 发布详尽的实验任务书以及配套的预习资料。这些资料涵盖精心录制的理论知识讲解视频、权威的相关技术文档、具有代表性的经典案例分析等内容。例如, 在开展“基于微服务架构的电商系统开发”实验前, 教师上传关于微服务架构原理、Spring Cloud 框架使用教程的高清教学视频, 以及 5 个成功的电商系统微服务架构案例分析文档, 引导学生自主学习, 初步了解实验所需的技术要点。

(2) 小组组建与任务分工

基于学生编程能力、技术偏好等数据标签, 通过项目管理工具 (Trello/Jira) 进行动态分组 (每组 5 人), 并生成可视化任务看板。以电商系统开发为例, 任务分工实现“虚实场景绑定”。

虚拟环境任务包括后端开发 (微服务接口设计)、

前端开发 (Vue 组件实现), 通过平台分配至个人。

实体实验任务包括系统集成、性能测试, 标注需在实体实验室完成的时间节点与硬件需求。

小组通过工具实时更新任务进度, 教师可通过后台看板监控分工合理性。

(3) 虚拟环境联动搭建

虚拟环境联动搭建包括虚拟环境和实体环境搭建两部分。

虚拟环境搭建: 学生在华为云实训平台选择预置镜像 (Java JDK+Spring Cloud+MySQL), 通过一键部署功能完成开发环境搭建 (平均耗时 ≤ 2 小时), 并通过平台内置的“环境校验工具”自动检测配置完整性。

实体环境搭建: 提前在实验室部署本地服务器集群 (含负载均衡器、压力测试工具), 并与虚拟环境通过 API 接口打通, 确保代码从虚拟环境提交后可直接在实体环境部署测试。

5.2 虚实场景协同开发

本阶段采用“虚拟设计-实体验证”的联动模式, 通过场景切换实现知识应用与问题解决的深度融合。

(1) 虚拟环境中的迭代式开发

学生在虚拟平台完成模块化设计与编码, 依托平台功能实现高效协作。开发工具使用平台集成的 IDE (支持实时语法检查、自动补全) 编写代码, 后端通过 Spring Cloud 实现服务注册/发现, 前端通过 Vue CLI 构建单页应用; 版本控制需要绑定 GitHub 仓库, 要求每日提交代码 (平均 3 次/人), 平台自动记录提交日志并生成代码增量分析报告。虚拟测试需要通过平台内置的单元测试工具 (如 JUnit) 进行模块测试, 生成覆盖率报告 (要求初期覆盖率 $\geq 60\%$)。

(2) 实体实验室的集成与测试

当虚拟模块开发完成后, 转入实体实验室进行“硬件-软件”联调, 重点验证系统在真实环境中的性能与兼容性。

其中集成测试是将虚拟环境中的微服务部署至实体服务器集群, 通过 Postman 进行接口联调, 解决跨服务调用延迟问题。

压力测试使用 JMeter 模拟 1000 用户并发访问, 监测服务器 CPU/内存占用率, 记录系统响应时间 (要求 ≤ 2 秒)。

测试中发现的硬件适配问题 (如数据库连接超时), 需在实体环境调试后同步更新至虚拟环境代码

库，形成“实体反馈-虚拟优化”闭环。

（3）双师协同与动态指导

在整个实验过程中，教师通过在线教学平台实时监控学生的实验进度，仔细查看学生提交的代码、文档以及测试报告，及时给予专业的指导和反馈。线上指导过程，教师通过平台实时查看学生代码提交记录与测试报告，对共性问题（如服务熔断配置错误）发布在线教程；线下辅导每周 2 次实体实验室答疑，针对硬件相关问题（如服务器负载均衡策略）进行现场演示。

团队协作过程小组每日通过平台看板同步进度，遇到接口对接问题时，通过平台内置的视频会议功能进行实时沟通。

5.3 多元反馈与能力复盘

本阶段通过“虚实数据融合”的评价体系，实现过程性与结果性评价的有机统一。

（1）成果整合与多维度展示

实验结束后，学生以小组为单位提交内容详实的实验报告和完整的项目成果，包括虚拟成果和实体成果。

虚拟成果需提交虚拟平台自动生成的开发文档（含架构图、接口文档、单元测试报告）、代码仓库链接；实体成果需提交实体实验室测试报告（含压力测试曲线、服务器性能数据）、系统部署手册。

每组通过 PPT 汇报（10 分钟），重点说明“虚拟设计-实体验证”过程中的关键决策（如为何选择某负载均衡算法），并现场演示系统在虚实环境中的切换运行效果。

（2）基于虚实数据的多元评价

评价指标融合虚拟与实体数据，通过平台自动计算与人工评审结合，其中：

虚拟数据（40%）：代码质量评分（平台基于公式自动计算）、虚拟测试覆盖率、线上学习参与度（视频观看时长、讨论发言次数）。

实体数据（40%）：实体测试通过率、系统性能指标（响应时间、并发量）、硬件问题解决效率。

团队表现（20%）：基于 Trello 任务分配完成率、代码贡献度（平台自动统计）、小组互评得分。

（3）能力复盘与持续优化

个人复盘环节，学生通过平台查看个人能力画像报告（含代码质量、问题解决速度等维度），对比虚

拟与实体环节的表现差异；

教学改进环节教师汇总实验数据，分析虚实环节的衔接痛点（如虚拟测试未覆盖的硬件问题），优化下一轮实验的资源配置（如增加实体环境预测试环节）。

通过三阶段的虚实协同实施，既发挥了虚拟环境在成本控制与场景灵活性上的优势，又通过实体实验强化了真实工程问题的解决能力，形成“设计-验证-优化”的完整闭环。

6 教学改革成效分析

6.1 学生实践能力显著提升

通过对参与虚实结合实验教学改革的 100 名学生进行长期跟踪调查，对比改革前后学生的实践能力。在软件项目开发能力方面，改革后学生能够完成的项目复杂度明显提高，平均代码行数从改革前的 5000 行增加到 8000 行，运用前文代码质量评分公式计算，代码质量评分也从 60 分提升到 80 分（满分 100 分）。在软件测试能力方面，学生发现和解决软件缺陷的数量增加了 50%，测试覆盖率提高了 20 个百分点。通过实验效率公式计算得出，学生在改革后的实验效率也有显著提升，从改革前的 0.6 提升到 0.8。具体数据如表 4 所示：

表 4 教学改革成效对比

实践能力指标	教学改革前	教学改革后
项目平均代码行数	5000	8000
代码质量评分	60	80
发现和解决软件缺陷数量	20	30（增加 50%）
测试覆盖率	60%	80%（提高 20 个百分点）
实验效率	0.6	0.8

6.2 学生满意度提高

通过精心设计的问卷调查方式收集学生对虚实结合实验教学的满意度。调查结果显示，学生对实验教学的总体满意度达到了 90%，其中对实验内容的满意度为 85%，对实验教学平台的满意度为 88%，对教学方法的满意度为 87%。相比传统实验教学，学生满意度有了显著提升。

6.3 就业竞争力明显增强

对参与教学改革的 140 名毕业生就业情况进行全面统计分析，发现改革后的学生在就业市场上更具竞争力。毕业生的就业率从改革前的 80%提高到了 86%，

就业岗位与专业的匹配度从 70%提升到了 76%。这些数据表明,虚实结合的实验教学改革有效提升了学生的就业竞争力。

7 结束语

虚实结合的软件工程核心课程实验教学数字化转型与创新实践,成功解决了传统实验教学的诸多难题,有力提升了学生的实践能力、创新思维和就业竞争力。通过构建完善的实验教学体系,采用先进的教学方法和评价体系,利用数字化技术拓展实验内容和场景,为软件工程专业人才培养提供了坚实支撑。然而,在教学改革过程中,也面临着数字化资源建设、教师数字化教学能力提升等挑战。未来,需要进一步加强数字化资源的整合与优化,持续提升教师的数字化教学水平,不断完善虚实结合的实验教学模式,以适应软件工程行业的快速发展和人才培养的新需求。

参考文献

- [1] 谭貌、段斌、周彦、旷怡.面向产出落实工程教育认证标准的院系机制与实践[J].计算机技术与教育学报,2023,11(5),P16-20
- [2] 莫嘉嗣,魏德仙.新工科背景下基于虚实结合的专业理论与实验同步教学新模式探索及实践[J].中国现代教育装备,2025,(03):61-63
- [3] 赵小林,薛静锋等.多维实践构建的计算机实践教育螺旋学习模型[J].计算机教育,2024,(02):150-154
- [4] 褚菲,云霄,卢新宇,等.基于虚实结合实验平台的控制类综合实验课程建设[J].实验室研究与探索,2024,43(02):163-168.
- [5] 李英玲,王青,黄闽英.智能化软件工程全过程量化管理的实验教学探索与实践[J].高等工程教育研究,2023,(01):67-72.
- [6] 吴洪艳,高国宏,王润涛,等.虚实结合混合式单片机教学改革与实践[J].物联网技术,2023,13(07):152-154.
- [7] 杨勇,胡家康.新质生产力视域下机器人虚实结合轨迹优化实验教学设计[J].实验室研究与探索,2025,44(01):106-111.
- [8] 严圣华,刘晶晶.鸿蒙系统下的软件技术专业课程设计与实践[J].信息系统工程,2025,(02):161-164.