

教育数字化转型背景下计算机 硬件实验课程改革*

付小晶 刘书勇 张立国 李思照

哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院, 黑龙江 150001

摘要 本文提出计算机硬件实验数字化转型课程建设方案,以数字化教学资源库为基础,以交互式虚拟仿真实验教学平台为核心,从实验手段、实验教学资源、实验教学方法和实验考核等方面深度融入数字化技术,提出了多元细粒度数字化全过程实验考核机制,有助于实现以学生为本的基于 OBE 理念的课程建设目标,显著提升了实验教学质量和学生实践创新能力。

关键字 教育数字化, 计算机硬件实验, 数字化课程, 虚拟仿真实验, 实验考核

Study and Analysis of Clustering Routing Protocol in Wireless Sensor Networks

Fu Xiaojing Liu Shuyong Zhang Liguang Li Sizhao

College of Computer Science and Technology of Harbin Engineering University,
Harbin 150001, China;
fuxiaojing@hrbeu.edu.cn

Abstract—This article proposes a course construction method for the digital transformation of computer hardware experiments, which is based on the digital teaching resource library and takes the interactive virtual simulation experimental teaching platform as the core. This method deeply integrates digital technology from many aspects such as experimental means, experimental teaching resources, experimental teaching methods and experimental assessments. In this article, a multiple fine-grained digital whole-process experimental assessment mechanism is also proposed, which helps to achieve student-oriented curriculum construction goals based on the OBE concept and significantly improves the quality of experimental teaching and students' practical innovation capabilities.

Keywords—digitalization of education, computer hardware experiments, digital courses, virtual simulation experiments, experimental assessments

1 引言

近年来,新一轮科技革命和产业革命推进了数字技术的快速发展,“数字化”成为国家转型和社会发展的的重要途径,世界各国都认识到高等教育数字化的重要性,并将其提升到国家战略高度,纷纷出台国家数字化发展战略来推动高等教育数字化进程。党的二十大报告中将教育作为全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑进行系统谋划的同时,强调要“推进教育数字化”^[1]。2023 年全国教育工作会议的主攻方向和重点任务也进一步明确要“纵深推进教育数字化战略行动”^[2]。教育数字化是将数字技术整合到教育的各个层面,充分利用数字技术的优势促进教育系统的结构、功能、文化发生创变^[3]。教育数字化转型更加

注重以学生为中心,强调学习的主动性和互动性,是实现自主学习、终生学习和全民学习的必然要求。教育数字化的内容是以数字化的教育资源为基础,以数字化的教育课程为核心,以数字化的教育评价为保障。因此,高校积极推进计算机硬件类实验数字化课程建设具有重要意义。虚拟仿真实验教学体系的建设是数字化教育发展的重要趋势,为学生提供了直观、可重复、交互式的实验体验,有助于提升实验教学质量、培养实践能力和创新思维。在教育数字化转型背景下,以虚拟仿真实验教学平台为核心,在实验教学各环节全面深入融合数字化技术是计算机硬件类实验数字化课程建设的重要任务。

2 相关研究

各高校已开展了计算机硬件类课程数字化方面的研究,主要体现在线上实验课程和虚拟仿真实验方面。2019 年,屈泳等^[4]探讨了在“互联网+”环境中对计算

* 基金资助: 黑龙江省高等教育教学改革研究项目 (SJGZ20210088), 哈尔滨工程大学本科教学改革研究项目 (JG2023B0605), 哈尔滨工程大学研究生教学改革研究项目 (JG2023Y024)。

机硬件课程进行虚拟仿真实验教学的建设和设计,研究了建设“互联网+”背景下的计算机硬件虚拟仿真实验平台的各项技术。2019年,何世添等^[5]提出课内外协同的计算机组成原理实验教学模式,选取Logisim作为实验平台,在课内采用多种教学手段,借助在线学习资源,实现课内外协同实验。2019年,章复嘉等^[6]提出了一种普适于计算机硬件类课程实验的RSIE-SPOC教学方法,采用远程可交互式硬件实验板卡为学生提供远程在线硬件实验教学,借助云平台实现实验考核。2020年,李润洲等^[7]等提出面向OBE的计算机硬件课程建设方案,结合基于二维码的实验过程监管云平台实现实验过程管理和实验验收。2022年,彭成等^[8]提出基于Logisim平台的计算机硬件实验课程体系建设方案,将计算思维方式贯穿整个教学过程。2022年,梁占红等^[9]针对电路实验教学中存在的问题,依托雨课堂教学平台和Multisim仿真软件,探索并实践了一种基于虚实结合的混合式实验教学体系。2023年,凌纯清等^[1]提出了基于问题导向的数字电路与逻辑设计课程教学案例,建立了虚拟实验、仿真实验、硬件设计三级逐层递进的实践体系。

现有的研究成果主要针对计算机组成原理实验教学方法 and 实验平台,侧重于虚拟仿真实验和线上线下混合式教学模式方面的研究。在硬件电路设计、慕课开发和实验教学资源建设等方面应用了计算机相关技术,借助第三方教育平台实现了实验手段和实验教学方面的数字化融合。使用云平台实现了实验过程管理与实验考核。但现有研究成果比较零散,缺少系统性的数字化融合方案整体设计,尤其在数字化交互式辅助实验教学软件和数字化实验考核方面缺少深入的研究,因此,需要从多方面深入融合数字化技术,全面构建高质量的计算机硬件实验数字化课程。

3 基于OBE理念的计算机硬件实验课程目标

计算机硬件实验课程是计算机硬件实验课程群中一门基础的实验课程,其所处课程群位置及课程内容如图1所示。实验内容按照计算机硬件系统层次结构编排,涵盖了计算机硬件系统层次结构各层涉及的知识。

计算机硬件实验课程对应的课程目标,以及对毕业要求的支撑关系如表1所示。

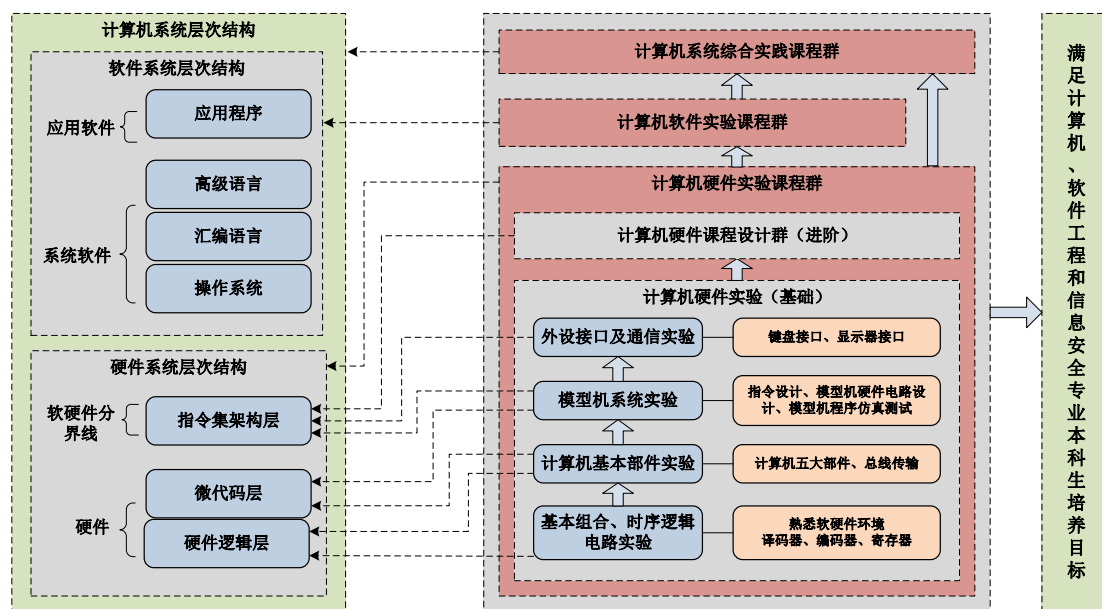


图1 计算机硬件实验课程内容及其在课程群中的位置

计算机硬件实验课程目标如下:

(1) 课程目标1: 掌握可编程技术和数字逻辑基础知识,熟悉EDA软件和FPGA实验台的使用方法。具备数字逻辑电路设计与仿真能力。具备工程意识、团队合作精神,锻炼分析问题和解决问题的能力。

(2) 课程目标2: 掌握计算机组成原理基础知识、计算机基本部件工作原理和总线控制原理。具备利用

EDA软件设计和仿真计算机基本部件的能力。具备根据电路特征和FPGA资源,考虑硬件成本,选择合适的电路设计方案和演示方案的能力;具备解决复杂硬件设计工程问题的能力。

(3) 课程目标3: 掌握基本模型机指令集和模型机系统结构。了解微程序控制基本原理和机器指令执行过程。具备编写和仿真模型机测试程序的能力。具

备模型机指令集扩展和电路优化能力。具备采集实验数据、分析实验结果和撰写实验报告的能力。

表 1 计算机硬件实验课程目标对毕业要求的支撑关系

实验项目名称	课程目标	毕业要求	指标点分解
基本组合、时序逻辑电路实验	课程目标1	个人和团队	能够在工程项目实践中承担个体、团队成员以及负责人的角色；
计算机基本部件实验	课程目标2	研究	能够针对计算机及相关应用领域复杂工程问题，根据对象特征，进行研究路线的选择和实验方案的设计；
模型机系统实验	课程目标3	研究	能够基于专业理论和方法，根据实验方案构建实验系统和开展实验，正确地采集实验数据；
外设接口及通信实验	课程目标4	项目管理	掌握计算机及相关应用领域工程管理的基本原理与经济决策的基本方法，理解计算机软硬件系统设计、研发等过程中涉及的管理与经济决策问题；

(4) 课程目标 4：掌握计算机设备接口基础知识，具备利用 EDA 软件设计和仿真计算机接口电路的能力。具备解决计算机硬件系统设计过程中工程管理与经济决策问题的能力；提高计算机硬件工程应用能力和创新实践能力。

计算机硬件实验数字化课程以计算机硬件实验数字化教学资源库为基础，以计算机硬件实验虚拟仿真实验教学与考核平台（以下简称教学平台）为核心，将数字化、网络化、智能化技术融入实验教学环节各个层面，形成线上线下混合式实验教学模式，如图 2 所示。

4 线上线下混合式数字化实验课程教学模式

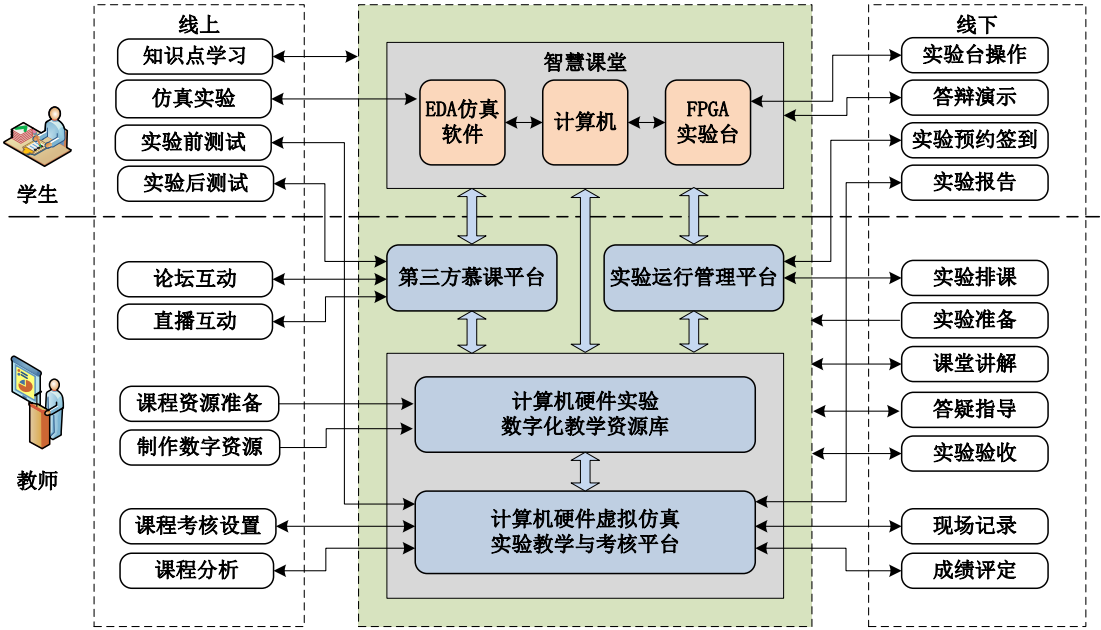


图 2 计算机硬件实验线上线下混合式教学模式

(1) 智慧课堂提供“EDA 仿真软件+FPGA 实验台”的实验环境，学生完成电路设计、仿真与实验台下载等任务。教师现场指导答疑，验收学生实验结果并记录其实验全过程和学习状况。

(2) 实验运行管理平台用于学生实验预约与现场签到，教师编辑和发布课表以及实验运行管理等功能。

(3) 慕课平台提供实验慕课学习与教学直播功能, 实现学生自主学习和实验前教师直播统一讲解。并提供实验课程结束后的实验能力考试功能。

(4) 数字化教学资源库存储多媒体课件、实验微视频、实验题库、AR 模型等数据, 是整个数字化实验课程的基础。

(5) 虚拟仿真实验教学与考核平台(以下简称教学平台)实现辅助实验教学和数字化实验考核功能, 是数字化实验课程的核心。教学平台的虚拟仿真功能完成计算机部件级的仿真, 目的是以直观、动态的方式学习复杂的电路原理, 用于实验预习阶段的教学指导, 而 EDA 仿真软件属于实验软件, 完成 RTL 及和门级电路设计与仿真, 用于实验现场阶段。

这种线上线下混合教学模式充分利用了现代教育技术和数字化工具的优势, 在实验教学各个环节充分融入数字化教育技术, 提升教师实验教学和学生实验的效率, 促进了基于 OBE 理念的课程目标实现。

5 数字化计算机硬件实验课程教学与考核

5.1 数字化实验教学与考核总体架构

计算机硬件实验数字化实验教学与考核总体架构如图 3 所示。实验环节共分为五个阶段:

(1) 实验预习阶段: 每次实验课前一周, 教师通过慕课平台教学直播功能统一讲解实验原理和任务要求。学生通过自主学习实验慕课视频和教学平台的实验内容, 掌握实验的基本原理和操作方法。为实验室的实践操作做好充分准备。

(2) 实验前测阶段: 学生通过在线答题系统来测试对实验内容和实验原理的理解程度。只有达到合格标准的学生, 才被允许进入实验室进行现场实验。

(3) 实验现场阶段: 学生参与课堂实验教学活动, 使用 EDA 仿真软件设计和仿真电路功能。并将电路下载到 FPGA 实验台上测试、演示电路功能。

(4) 实验报告阶段: 对实验数据进行详细分析。主要包括对电路仿真波形图的分析、实验排错过程, 还有实验电路的改进方案。

(5) 实验后测阶段: 通过慕课平台提供的考试功能完成实验能力测试。实验题库涵盖实验原理知识, 实验软件、技术和硬件的使用方法。考查学生实验锻炼后的理论知识点掌握情况和计算机硬件设计能力水平。

整个实验环节贯穿了从理论到实践再到理论的思想, 采用课内与课外相结合、线上与线下相结合的实验模式, 学生可以通过多个平台完成知识点学习、实验指导、虚拟仿真实验和实验答题等功能, 有效地提升了综合素质和工程实践技能。

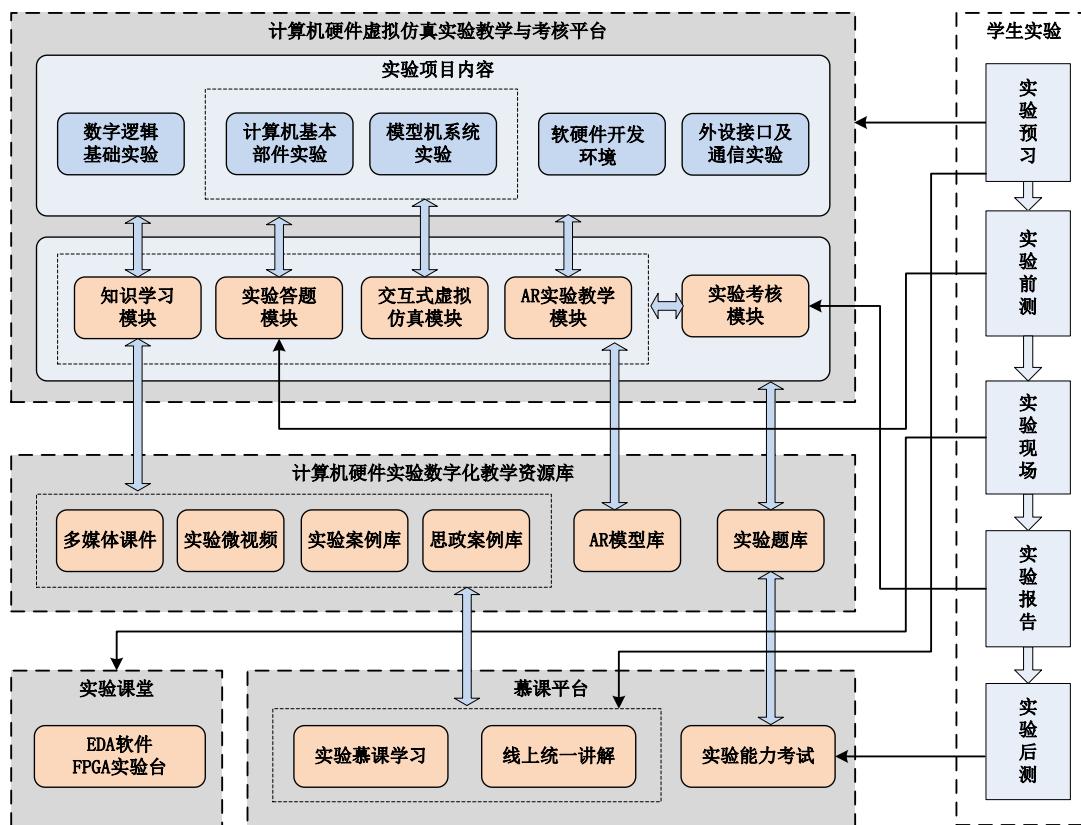


图 3 计算机硬件实验数字化实验教学与考核总体架构

5.2 数字化计算机硬件实验教学资源库

数字化实验教学资源是构建计算机硬件数字化实验课程的基础。教育数字化转型背景下，要充分利用

包括数字孪生、3D 建模、VR、AR、混合现实等在内的可视化技术实现数字教育知识资源的立体呈现和沉浸交互^[11]。计算机硬件实验教学资源采用多种数字化技术，形成了丰富的数字化实验教学资源库，如表 2 所示。

表 2 计算机硬件实验数字化教学资源库

资源名称	资源功能简述
多媒体课件	展现计算机的各个部件原理和工作过程，通过一种直观的方法使学生掌握抽象的概念和实验方法。
实验微视频	演示组合、时序逻辑电路基本功能；演示计算机部件与模型机电路原理、工作过程；演示虚拟仿真实验软硬件操作流程等。
实验题库	主要根据实验内容、实验原理和实验过程的相关内容设计实验题目，用于实验答题和实验课程结束后的硬件开发能力考试。
AR模型库	计算机部件电路、FPGA实验台的3D模型和视频等文件，可以通过增强现实AR技术加载，以直观、动态的形式学习电路和实验台的功能与工作原理。
思政案例库	与知识点紧密融合的、经过挖掘整理的多媒体形式思政元素文件，在教学课件和其他平台中调用，让思政教育数字化、无缝融入实验教学过程。
实验案例库	归档一些学生和教师开发的优秀实验作品或有代表性的实验源工程及报告文档，可以用于学生实验参考资料，也可以用于课程教学改革的基础。

5.3 计算机硬件实验虚拟仿真实验教学与考核平台

主要提供数字化实验内容学习、模型机虚拟仿真和数字化实验考核三大核心功能。主要包括五个核心模块：

（1）知识学习模块

以丰富的多媒体实验教学资源库为基础，参照数字教材标准设计实验内容学习体验，主要实现实验内容的情景化展示，根据实验项目所包含的知识点进行排版，采用基于数字地图的编排，引导学生进行实验原理的学习。采用 xml 流式排版技术实现移动端网页适配，方便学生自主学习。

（2）交互式虚拟仿真模块

仿真计算机部件、模型机电路工作原理，能够识别模型机及其指令编写的程序，模拟程序运行过程中数据通路各种信息传递过程和所需的各种微命令。通过可视化图形界面展示电路工作过程，学习过程更直观、更高效。

（3）AR 实验教学模块

利用增强现实（AR）技术，可以实现将移动设备摄像头指向电路图片或者 FPGA 实验台上的芯片时，在屏幕上显示相关的虚拟内容，如视频和 3D 模型等。以直观、动态的形式学习电路原理和和实验开发技术。发挥智能手机的移动便捷性和增强现实技术的用户体验性，加强学生学习的参与感和学习兴趣。

（4）实验答题模块

实现移动端答题功能、题库管理和答题管理功能，记录答题分数、答题次数等功能。题目内容与实验原理和操作密切相关，只有认真完成实验，并且掌握实验原理和实验方法才能正确回答问题。支持学生出题，教师审核的方式，有利于扩充实验题目，并且激发学生的学习兴趣。

（5）实验考核模块

负责学生整个教学平台学习过程中的跟踪记录，记录用户的学习状态、学习痕迹、学习 偏好等。为后续综合评定学生实验成绩提供依据，也为后续教学反馈和课程改进提供基础数据。

5.4 多元细粒度数字化实验考核评价机制

课堂教学、慕课平台和教学平台是相互独立的学习平台，各自有评价方式，但又是相辅相成的。根据计算机硬件实验课程线上线下混合式教学模式，开展多元细粒度的全过程评价，设计了 12 个考核项，制定了详细的考核指标，如表 3 所示。

混合教学模式贯穿“实验预习”、“实验前测”、“实验现场”、“实验报告”和“实验后测”五个阶段。实验前测和实验后测成绩不计入总成绩。实验前测成绩只作为学生进入实验室实验资格的依据，实验后测成绩仅作为评价实验教学效果的依据，促进后续实验教学改进。考核过程采用系统评价和教师评价相结合的方式，有效评定学生实验效果。慕课平台自动评价直播讲解的出勤率、学生慕课视频学习进度和课

程结束后能力的测试结果；教学平台自动生成知识点学习进度、互动仿真结果和实验答题分数等整个学习过程数据，有助于教师掌握每个同学对每个实验和每个知识点的掌握情况；教学平台提供移动端成绩录入功能，方便教师在实验现场验收环节高效、准确、详细地记录每个学生的实验过程数据，包括每个电路信号的设置情况。以便课后复盘实验过程；教学平台提供实验现场成绩和各个平台成绩汇总、成绩评定功能，实现多元化细粒度实验考核机制，公正评定实验成绩。

表 3 计算机硬件实验线上线下混合式课程评价细则

实验阶段	学习平台	学习形式	主要评价指标	评价工具	评价成绩占比
实验预习	慕课平台	线上讲解	出勤率	慕课平台自动评价	20%
		实验慕课	视频学习进度		
	教学平台	认知学习	知识点学习进度	教学平台自动评价	
		互动仿真	互动次数、仿真结果正确性		
实验前测	教学平台	实验答题	答题分数	教学平台自动评价	—
实验现场	课堂教学	常规教学	出勤率和课堂表现	教师评价 (教学平台移动终端录入)	50%
		电路设计	电路正确性与性能优劣		
		软件仿真	波形图正确性和全面性		
		实验台操作	演示方案直观性和演示熟练程度		
		实验验收答辩	回答问题难度和正确性		
实验报告	课堂教学	撰写指导	实验数据分析正确性与全面性	教师评价（教学平台录入）	30%
实验后测	慕课平台	实验考试	答题分数	慕课平台自动评价	—

6 成果与成效

教学改革方案在 2019 版培养方案中实施，计算机硬件实验面向计算机科学与技术、软件工程和信息安全专业开课，取得了较好的效果。2019 级、2020 级和 2021 级实验人数分别为 452 人、538 人和 382 人。学生成绩与实验情况如图 4 所示。

(1) 从学生的实验成绩来看，优秀和良好的比例逐步上升。利用丰富的数字化教学资源，学生能够快速、深入掌握实验原理，提高学习兴趣，积极钻研，产生了更多优秀的实验案例。

(2) 利用线上线下混合实验教学模式，拓展了课外学习空间，学生有更多的精力和时间完成选做实验项目，提高了实践创新能力，实现了个性化培养。

(3) 学生实验兴趣更加浓厚，越来越多的学生逐步优化实验，完成难度逐级递增的仿真要求，设计开发能力显著提升。并且积极参加计算机硬件方向的科创活动和学科竞赛，取得了良好的成绩。

因此，数字化实验课程改革建设后，利用流行的计算机技术为实验教学和考核等环节提供了丰富的数字化教学资源和方便快捷的辅助教学工具，提高了实验教学效率和实验质量，提升了学生计算机硬件系统设计能力和实践创新能力。

表 2 学生实验情况与成绩对比分析

	良好和优秀成绩		完成选做实验项目		完成2级以上仿真要求	
	人数	占比	人数	占比	人数	占比
2021级	223	58.4%	63	16.5%	289	75.7%
2020级	307	57.1%	44	8.2%	385	71.6%
2019级	255	56.4%	20	4.4%	295	60.9%

7 结束语

教育数字化转型是高校教育重要的任务之一，计算机硬件实验课程通过线上线下混合教学模式，在“实验预习、实验前测、实验现场、实验报告、实验后测”五个阶段融入数字化技术。提供了场景化的实验知识点学习体验、交互式虚拟仿真学以及移动端成绩录入和自动化成绩评定等功能，提高了学生的计算机硬件设计能力和实验教学质量。通过多元化细粒度实验考核机制，实现了过程化实验考核，达成了基于 OBE 理念的计算机硬件实验课程目标。下一步将继续深入融合数字教育技术，运用大数据、人工智能等技术实现计算机硬件实验实课程数字化、智能化、过程化实验教学、考核与管理。

参 考 文 献

[1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗 ——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告 [EB/OL]. (2022-10-25) [2024-04-12] http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm, 2022-10-25

[2] 教育部. 加快建设高质量教育体系办好人民满意的教育——2023 年全国教育工作会议召开. [EB/OL]. (2023-01-12) [2024-04-12]

http://www.moe.gov.cn/jyb_zzjg/huodong/202301/t20230112_1039188.html, 2023-01-12

[3] 刘学智, 曲锐, 曹伟. 新时代高质量数字化教材建设的价值意蕴、基本逻辑和实践路径[J]. 现代教育管理, 2024 (03): 75-84

[4] 屈泳, 阮小军, 王三华. 计算机硬件虚拟仿真实验平台的建设与设计[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37 (12): 116-119

[5] 何世添, 谭德立. 课内外协同的《计算机组成原理》课程教学模式探索与实践[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41 (S1): 144-148

[6] 章复嘉, 孙丹凤, 赵建勇, 等. 一种计算机硬件类课程实验教学方法[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38 (05): 151-154

[7] 李润洲, 康磊, 宋彩利. 面向 OBE 的计算机硬件类课程实验改革探索[J]. 大学教育, 2020, (03): 98-100

[8] 彭成, 潘伟民, 肖克来提·库热西, 等. 基于虚拟仿真的计算机硬件实验教学体系建设研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2022, 41 (02): 1-8

[9] 梁占红, 廖晓辉, 胡玉霞, 等. 基于虚实结合的电路实验混合式教学探索与实践[J]. 实验科学与技术, 2022, 20 (06): 89-92

[10] 凌纯清, 邝继顺, 徐成, 等. 基于问题导向的数字电路与逻辑设计课程教学改革[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11 (2): 34-38

[11] 王燕星, 张胜璋. 场景理论视域下的数字教材互动策略研究[J]. 中国成人教育, 2023, (07): 47-51