

# 基于问题导向的数字电路与逻辑设计课程教学改革

凌纯清 邝继顺 徐成 胡红平

湖南大学信息科学与工程学院, 长沙 410082

**摘要** 针对课程教学中存在的问题, 以学生为中心, 从“教-演-练-测-评”五个维度着手, 五位一体全面建设课程资源。教学设计上, 理论实践一体化, 以一台模型机贯穿整个教学。理论教学中, 依据BLOOM教育目标分类法, 确定知识点的认知要求, 采用BOPPPS教学模式, 重视计算(机)学科方法的教育; 为了训练学生动手能力, 实现高质量的模型机, 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。目前这些改革措施已全面实施, 实践表明这些措施有效地解决了教学中的一些问题, 提升了教学效果和学生工程能力。

**关键字** 问题导向, 以学生为中心, 数字电路与逻辑设计

## Teaching Reform of Digital Circuit and Logic Design Course Based on Problem-Oriented Approach

Ling ChunQing Kuang JiShun Xu Cheng Hu HongPing

College of Computer Science and Electronic Engineering  
HuNan University  
Changsha 410082, China

**Abstract**—In response to the problems existing in course teaching, we focus on students, and comprehensively build course resources from the five dimensions of "teaching-demonstrating-practicing-testing-evaluating". In teaching design, theory and practice are integrated, with a single model machine running through the entire teaching process. In theoretical teaching, according to Bloom's taxonomy, the cognitive requirements of knowledge points are determined, and the BOPPPS teaching model is used, which emphasizes the education of computational (machine) disciplinary methods; In order to achieve high-quality model machines, a progressive practice system of virtual experiments, simulation experiments, and hardware design has been established. At present, these reform measures have been fully implemented. Practice has shown that these measures have effectively solved some problems in teaching, and have improved teaching effects and students' engineering capabilities.

**Keywords**—Problem-Oriented; Student-centered; Digital Circuit and Logic Design

## 1 引言

近年来信息技术向教育领域深度融合发展, 为教育提供多种可能, 为问题的解决提供了技术支持, 不少教师从某个层面对某些问题提出了解决方案, 文献[1]利用在线学习平台开展线上线下混合式教学实践, 文献[2]在疫情期间基于MOOC线上开展翻转课堂。文献[3]探讨了问题导向和深度学习的教学实践。

数字电路与逻辑设计课程是计算机硬件课程体系中的基础课程, 在整个专业课程体系中的位置就好比建筑中的地基, 占据非常重要的地位, 俗话说“基础不牢, 地动山摇”, “根深才能叶茂, 基固才能楼高”。2017年“新工科”战略的提出, 成为了高校教学改革的热点<sup>[4]</sup>, 本课程如何运用信息技术对传统的教学内容和教学模式进行改革, 培养学生的工程实践能力, 为后续课程作好铺垫是必须正视和重视的问题。

\* **基金资助**: 本文得到湖南省普通高等学校教学改革研究项目(HNJG-2020-0102)基金支持。

## 2 现状分析

文献[5]简单述评了计算机专业课程改革, 指出改革取得了一些具有借鉴意义的成果, 但距离新工科的目标与要求仍有距离。笔者根据以往的教学活动, 发现在培养计算机专业人才的过程中存在以下问题:

(1) 不够重视学科方法论的教育<sup>[6]</sup>。长期以来教育以传授知识为本位, 但知识容易过时, 太注重具体知识, 容易迷失方向。学科方法论是专业领域攻坚克难的领航员, 它蕴涵于各学科的知识中, 因此, 在教学中需要重视学科方法论的教育, 从而实现知识到能力的培养。

(2) 知识的认知要求不清晰。课程组教师可能不太清楚某些知识的讲授深度, 学生更不清楚每个知识点的掌握程度, 这就造成不同教师所教的班级之间, 同一班级的学生之间, 知识的掌握程度存在差异。因此, 需要明确每个知识点的认知要求。

(3) 理论知识不够扎实。课程知识点庞杂，教师课堂上尽力诠释抽象的理论知识，但由于知识碎片化，学生往往前学后忘，不能灵活运用。因此，需要有效的方法巩固知识，构建知识体系。

(4) 实践积极性不高。学生受应试教育影响，普遍重知识轻实践。另外，本课程大二开设，学生在大一学习了程序设计课程，因此，在运用硬件描述语言设计电路时，常常受软件编程的影响，电路设计程序化，从而出现错误，打击了学生的实践积极性。因此，需要转变电路设计程序化的局面，同时创新实践手段，调动学生的实践积极性。

(5) 对硬件存在畏难情绪。计算机专业的学生普遍重编程轻硬件，对硬件的使用和设计存在畏难情绪。因此，需要有效的手段逐步消除学生的畏难情绪，从而重视硬件设计。

(6) 缺乏有效的评价机制。现在每门课程成绩都不再由中期末两项考试成绩确定，重视过程评价，但过程评价什么，怎么评价，如何量化，需要有效可信的评价机制。

### 3 课程建设

本课程以学生为中心、以问题为导向，从“教-演-练-测-评”五个维度着手，建设丰富互补的教学资源，设计全面的原理演示电路，自创形式多样的训练工具，创新测试手段，构建有效可信的评价机制。五位一体的课程建设覆盖教学过程的各个环节，如图 1 所示，打造适合不同层次学生自主学习的课堂。

#### 3.1 教学资源

本课程知识点庞杂，学生往往前学后忘。为了让学生更好地掌握知识，课程组依托超星泛雅平台建设了一门 SPOC，最初有 209 个讲解视频，总时长为 1978 分钟，后续优化，精减为 136 个讲解视频，总时长为 1240 分钟；100 多个非视频资料，2000 多道习题。从

2019 年建成以来，修课人数达到 2000 多人次，学生通过回看视频巩固知识，自选习题强化训练。

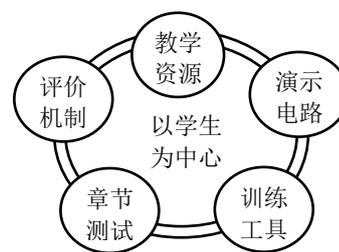


图 1 “五位一体”的课程建设

#### 3.2 原理演示电路

学生运用硬件描述语言实现电路时，常常受软件编程的影响，从而导致实现的电路质量不高。硬件描述语言，顾名思义，是描述硬件的语言。在描述电路之前，学生需先设计好电路的原理图，再用硬件描述语言描述该原理图。所以要想设计高质量的电路，学生必须事先理解电路的工作原理，培养硬件思维。

Logisim<sup>[7]</sup>是一款用于设计和仿真数字电路的虚拟仿真工具，提供电路设计所需的各种基本器件，器件是参数化设定。在设计界面选择器件，简单的鼠标拖曳连线即可完成电路设计。电路仿真时，电路内部数据线上的值决定数据线的颜色，如数据线的当前值为 1，数据线是亮绿色；数据线的当前值为 0，数据线变为墨绿色；数据线的值存在错误，数据线变为红色，这让电路的仿真调试非常直观。

笔者根据课程的重难点基于 Logisim 软件二次开发了 70 个原理演示电路，包含编码、CMOS 晶体管实现逻辑门、组合逻辑器件的功能与应用、时序逻辑器件的功能与应用、寄存器传输等等，演示电路完整。学生通过演示电路可以了解电路的工作过程，掌握电路的工作原理，培养硬件思维。图 2 为串行加法器演示电路，通过观察 D 触发器中的值和数据线颜色的变化可以直观了解加法执行过程。

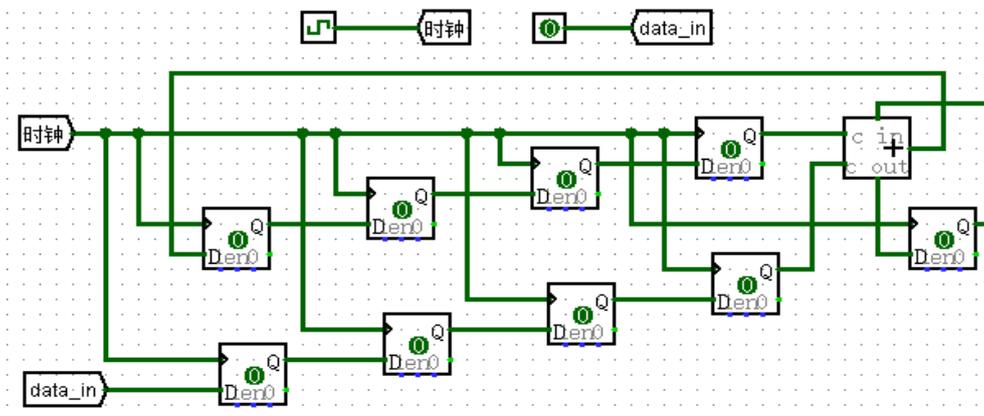


图 2 串行加法器演示电路

### 3.3 训练工具

本课程重视工程实践，只有大量有效的训练才能提升学生的设计能力。为此，研发了自动评测电路、仿真结果可视化软件、便携式 FPGA 实验平台三个训练工具。

#### (1) 自动评测电路

自动评测电路<sup>[8]</sup>借鉴软件黑盒测试原理，基于 Logisim 平台将测试样例输入待测模块，将待测模块的实际输出与期望输出进行比较来测试待测模块的功能。

笔者紧扣理论知识的重难点，确定电路设计的训练题目，每个训练都开发对应的自动评测电路，具体有编码、功能部件、运算部件、组合电路、时序电路、数据通路、层次设计以及迭代设计 16 个自动评测电路。这些评测电路都可对待测电路进行自动诊断，错误精准定位，制定评分标准，实现自动评分，协助学生检测电路的正确性，如果出错，可以根据报错排除错误，培养学生分析问题、解决问题的能力。

#### (2) 仿真结果可视化软件

学生工程实践积极性不高，一部分原因可能是 EDA 仿真实验枯燥乏味。目前仿真工具的仿真结果是值为 0 和 1 的波形，用户输入 0 和 1 的激励信号，仿真验证后，再一一检测对应输出信号的 0、1 值是否正确，这种方式可视性差，不能直观地检测仿真结

果的正确性。时序电路的输出由历史输入和当前输入决定，这就意味着：如果检测时序电路某个时刻输出的正确性，需要检测此时刻及以前所有输入产生的对应输出是否都正确，这很容易出错，并且对于复杂的数字系统来说，整个验证过程工作量非常大。

Quartus II 是一个综合性 CPLD/FPGA 开发软件，支持原理图、VHDL、Verilog HDL 等多种设计形式；ModelSim 是业界最优秀的 HDL 语言仿真软件；Scratch 是一款图形化编程工具，采用模块化的编程方式，可以像搭积木一样轻松创作动画、游戏等作品。

仿真结果可视化软件是 Quartus II、ModelSim、Scratch 三者协同，Quartus II 完成电路设计与编译，ModelSim 负责电路仿真，Scratch 实现二维动画，ModelSim 仿真和 Scratch 动画二者间通过文件读写的方式实现数据交互，如图 3 所示。仿真结果可视化软件将仿真结果以动画的形式直观地呈现出来，让用户可以很方便地验证系统功能，并提供交互式的方式，方便用户边验证边调整输入数据，从而对系统进行有效的验证。

目前该软件可以将滑动门、售货机、电梯和搅拌器的仿真结果用动画进行呈现。后续设想是：创建一个数字系统仿真结果可视化社区，提供一个平台让更多的兴趣爱好者在社区中发布其设计的仿真结果可视化软件，方便数字电路与逻辑设计相关课程的老师和学生下载使用。

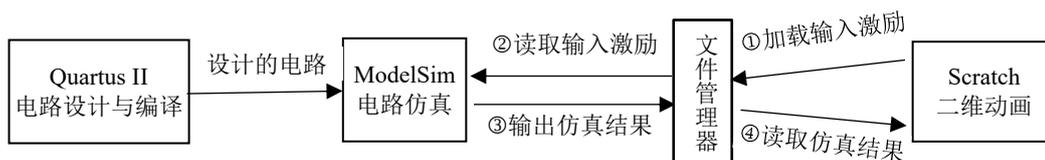


图 3 仿真结果可视化软件

#### (3) 便携式 FPGA 实验平台

根据多年的实践教学经验，研发制作了一系列的 FPGA 实验板，解决了经费紧张和硬件技术更新快的问题，具有低功耗、接口丰富、系统构架良好、适合课程实践要求的特点。

自制便携式 FPGA 实验板造价低，学生人手一块，板卡小巧，便于携带，突破了实验时间和场地的限制。USB 电缆供电和数据传输，方便笔记本用户使用。图 4 是自制的便携式 FPGA 实验平台。

FPGA 实验平台硬件资源：

主芯片：Altera 公司 Cyclone II 系列 EP2C5T144C8，有 4698 个逻辑单元和 288 个逻辑块。

配置芯片：Altera 公司 EPCS4，内存大小 4, 194, 304bits，具备掉电时配置信息保存功能。

USB 芯片：Cypress 公司 CY7C68013A-QFN56

时钟频率：12MHz

输入：电平输入 8 个、通用脉冲输入按键 6 个

输出：通用 LED 指示灯 26 个、数码管 8 个

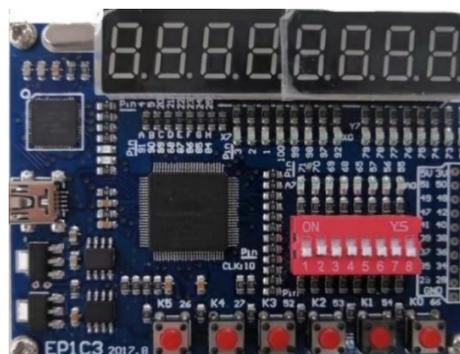


图 4 自制的便携式 FPGA 实验平台

### 3.4 章节测试

本课程对每个知识点提出了明确的认知要求。根据知识点的认知要求，确定知识点的考核难度和测试方法，如表 1 所示。在超星泛雅平台，根据知识点的考核要求，设计选择、判断、填空或连线等客观题，表 1 中的画图题用选择题或填空题代替，每个知识点设计多个题目，共设计了 700 多道试题。依托超星平台的自动组卷功能，选择考试的知识点和难度，从题库中随机抽取试题组成 20 套试卷，以题目乱序、选项乱序的方式随机分发给学生，学生线上考试，系统自动评分，这种测试方式一方面可以帮助学生查漏补缺，另一方面教师能分析各个知识点的掌握情况，适时调整教学，并及时对学习困难的学生进行辅导。

表 1 第 3 章部分评估细化表

知识内容	认知要求	测试方式
分层设计	解构 (3)	2 配 2 判：配自顶向下、自低向上，判优缺点、是否层次方法
工艺映射 (自学)	知道 (1)	2 判：判断电路的与非门、或非门工艺映射图
基本逻辑函数	使用 (3)	4 画：画出单变量实现方式，与、或、三态门使能方式
译码及其应用，编码	运用 (3)	3 选 2 填：选输出表达式、逻辑值、端子数，填图要实现的函数

### 3.5 评价机制

基于最大效度和信度原则，设计了诊断性评估、形成性评估和终结性评估，如图 5 所示，具体为课前诊断，了解学生的知识背景，防止教师上课像盲人摸象；课堂上执行一讲一测，以便及时发现问题，提高效率，改善学习效果。课后作业中有十几个课题来自现实世界，拓展了解决实际问题的能力。终结性评估中的章节评测以评测知识为主，几乎全部采用选择反应式题型，每一个知识点都有多个题目，以确保评估的有效性。期中和期末考试内容涵盖知识与能力两个方面，但以评估能力为主，试题全部为构建反应式。



图 5 有效可信的评价机制

## 4 教学设计

本着理论实践一体化原则，以一台模型机为线索，“课程贯穿+实践融通”的思路组织理论和实践教学，帮助学生构建知识体系，掌握学科方法，提升工程能力。

### 4.1 理论教学设计

教学内容组织。针对学生前学后忘的问题，本课程以一台模型机贯穿整个教学内容，将理论知识置于一台计算机系统中进行讲述，将零散的知识点串起来，有助于学生融会贯通，一旦知识建立了联系就不容易遗忘。

知识的认知要求。依据 BLOOM 教育目标分类法，对课程教学目标进行了详细的划分，每章各个知识点提出了明确的认知要求，表 2 为第 1 章各知识点的认知要求。明确的认知要求让老师有的放矢地教，学生明明白白地学，确保课程组的教学目标一致。

表 2 第 1 章教学内容和目标细化表

知识内容	认知层次要求					
	记忆	领会	应用	分析	评价	综合
信息表示				建模		
计算机设计抽象层次		辨别				
数制及转换			计算			
编码原理			设计			
十进制编码、字符编码	列举					
可靠性编码		解释				
奇偶校验码、格雷码			生成			

学科方法教育。本课程在传授知识的同时特别强调计算（机）学科方法教育，对计算（机）学科方法论中的三个过程（理论、抽象、设计）、一些常用概念（如层次化、模块化、抽象、重用、大问题的复杂性、折中与决策）进行重点讲解，并运用于解决实际的复杂问题，学科方法教育的相关论文发表在计算机教育杂志上<sup>[6]</sup>。

BOPPPS 教学模式。每堂课基于 BOPPPS 模式开展教学，精心设计导入，准确定位课堂目标，引导预习诊断，鼓励参与式学习，课后测试，及时评估效果，总结不断提高。每讲都设计一张内容丰富的学生活动表，让学生们完全沉浸在繁忙的学习中，参与式学习氛围非常活跃。

### 4.2 实践教学设计

理论实践一体化，理论教学以一台模型机贯穿始终，实践环节要求采用 Verilog 语言设计出这台模型机，实现知识的融会贯通。

由于学生设计电路时照搬软件编程思想, 电路设计程序化, 导致电路质量不高。故使用 Verilog 语言设计电路之前, 加大电路设计的训练。本课程建立了虚拟实验、仿真实验、硬件设计三级逐层递进的实践教学体系。

虚拟实验基于 Logisim 采用原理图的实现方式完成编码、功能部件、运算部件、组合电路、时序电路、数据通路、层次设计以及迭代设计 16 个实验, 学生采用自动评测电路进行自我诊断、调试, 提升电路的设计能力。

仿真实验采用 Verilog 语言实现两类实验, 一类是依托仿真结果可视化软件实现电梯、搅拌机、售货机和滑动门控制电路, 这类实验在夏季小学期完成, 提升学生的实践兴趣。第二类是基于 Quartus II 通过 4 次实验实现模型机中的功能部件, 最后整合为一台可以正确执行 16 条指令的模型机, 这类实验在课程中完成, 助教对学生的实验结果进行验收、答辩。

硬件设计安排在夏季小学期, 两周时间。学生每人一块便携式 FPGA 实验板, 首先焊接实验板元件, 再设计验证型实验检测元件的功能, 比如 LED 流水灯、按键计数器、数码管动态显示等实验, 然后进行拓展性设计, 实现乘法器、除法器、交通灯控制等, 最后自选题进行综合设计或设计多级流水的 CPU, 老师对综合设计进行工程性验收, 组织优秀作品答辩。学生从焊接、验证、拓展性设计再到综合设计一步步熟悉 FPGA 实验平台, 消除学生对使用硬件平台的畏难情绪, 同时提升复杂系统的设计能力。

三级实验层层递进, 从原理图设计, 到语言开发, 再到基于实验平台进行硬件设计, 让学生设计出可实际运行的电路, 激发学生参与实践的积极性, 达到培养思维、掌握方法、提升能力的目标。

## 5 教学成效

目前这些改革措施已全面实施, 实践表明改革有效提升了教学效果和学生的学习主动性, 提高了解决复杂工程问题的能力。

(1) 最近三年考试难度与学生成绩呈螺旋式上升, 期末总成绩平均在 73 分左右, 成绩分布逐渐合理。

(2) 学生对仿真结果可视化软件兴趣浓厚, 主动申请大学生创新创业训练项目, 进一步开发仿真结

果可视化软件, 在笔者指导下, 完成了电梯、售货机仿真结果可视化软件, 现在正在设计游戏类可视化软件, 教师将学生所做的创新开发成果反过来应用于实践教学, 教学相长。

(3) 学生积极参加各类竞赛, 成绩优异。笔者指导的学生参加第四届、第五届全国高校互联网应用创新大赛均荣获华东区第一名。

(4) 课程组完成多项省级和校级教改项目, 发表多篇教改论文, 2019 年本课程被认定为省级一流课程。

## 6 结束语

本课程正逐渐满足金课要求, 以传授专业知识, 培养复杂问题求解能力和训练科学思维方法, 满足高阶性; 虚拟实验、仿真实验、硬件设计三级逐层递进的实践教学体系, 模型机项目的个性化特色和基于便携式 FPGA 实验平台的综合设计对接创新性; 学生使用多个 EDA 工具, 掌握一门语言, 具有很高的挑战度。后续本课堂将扩充计算机组成的相关内容, 强化模型机的功能, 为计算机体系的后续课程提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 柏琪, 许睿婧, 余星星. 高校“线上线下混合式教学模式”的探索与实践 [J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(02):75-78.
- [2] 姜迪, 潘晟旻, 方娇莉. 疫情期间基于 MOOC 的翻转课堂模式在线上教学中的实践 [J]. 计算机教育, 2021(06):65-68.
- [3] 罗玉川, 柳林, 徐明. 基于问题导向和深度学习的计算机网络课堂教学实践研究 [J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 09(01):70-74.
- [4] 王彤, 陈景柱. 面向新工科的计算机类专业软硬件协同创新实践教学模式探索 [J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(05):102-109.
- [5] 周爱民, 沈建华, 邵非. 面向“新工科”人才培养的大学计算机专业课程教学改革与实践——以“AIoT 系统设计”课程为例 [J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(02):58-61.
- [6] 邝继顺, 凌纯清, 胡红平. 学科方法论教育及其在数字逻辑课程教学中的实践 [J]. 计算机教育, 2019(8):36-39.
- [7] 谭志虎, 胡迪青, 秦磊华. “计算机组成原理”课程设计的改革 [J]. 电气电子教学学报, 2016, 38(6):110-112+134.
- [8] 胡迪青, 谭志虎, 秦磊华. 计算机专业硬件实验自动评测系统设计与实现 [J]. 电气电子教学学报, 2020, 42(4):115-118.