

基于 OBE 理念培养学生解决复杂问题的 教学案例设计与实现

易灵芝 王雅慧 谭貌 刘江永 陈才学 罗晓雪

湘潭大学自动化与电子信息学院/多能协同与控制技术湖南省工程研究中心, 湘潭 411105

摘要 基于工程教育专业认证和新工科建设要求, 将虚拟仿真一流课程建设与培养工程素质相结合, 构建以项目为牵引的教学案例, 探讨培养学生解决复杂工程问题能力有效途径, 树立“以学为中心”基于产出的 OBE 教学理念, 通过强化目标导向, 进行逆向教学设计, 基于光伏扶贫电站案例开展差异化教学, 增强感性认识, 强化教学效果, 提升教学质量。教学改革实践表明, 学生学习兴趣显著提高, 自主学习能力和解决复杂工程问题的能力普遍增强, 目标达成度明显提升, 取得了较好的改革成效。对虚拟仿真一流课程的建设 and 教育教学改革具有一定的借鉴意义, 为高等院校工科专业教学建设提供思路。

关键词 工程教育专业认证, 复杂工程问题, OBE 教学理念, 新工科, 虚拟仿真一流课程

Developing Students to Solve Complex Problems based on OBE Teaching Case Design and Implementation

Yi Lingzhi Wang Yahui Tan Maung Liu Jiangyong Chen Caixue Luo Xiaoxue

College of Automation and Electronic Engineering,
Xiangtan University & Hunan Engineering Research Center
of Multi-energy Cooperative Control Technology,
Xiangtan, Hunan 411105, China

Abstract—Based on the requirements of professional certification in engineering education and the construction of new engineering disciplines, it combine the construction of virtual simulation first-class courses with the cultivation of engineering quality, and construct project-oriented teaching cases. The method can explore effective ways to cultivate students' ability in solving complex engineering problems. By enhancing perceptual understanding, strengthening teaching effect, The method set up a "learning-centered" and OBE teaching concept, and carry out differentiated teaching based on the case of photovoltaic power plant for poverty alleviation, so it can improve teaching quality through the reinforcement of goal orientation and reverse teaching design. We establish the concept of "learning-centered" output-based OBE teaching, strengthen the goal orientation, carry out reverse teaching design, carry out differentiated teaching based on the case of photovoltaic power plant for poverty alleviation, enhance the perceptual understanding, strengthen the teaching effect, and improve the teaching quality. Teaching reform practice shows that students' interest in learning has been significantly improved, their ability to learn independently and solve complex engineering problems has been generally enhanced, the degree of goal achievement has been significantly improved, and better reform results have been achieved. It has certain reference significance to the construction of first-class courses of virtual simulation and education and teaching reform, and provides ideas for teaching engineering majors in institutions of higher learning.

Keywords—Accreditation of Engineering Education Programs, Complex Engineering Problems, Outcome-based Education (OBE) Teaching concept, New Engineering, Virtual Simulation of First-Class Courses

1 引言

自 2016 年我国成为《华盛顿协议》正式成员至今, 工程教育专业认证标准日趋严格, 认证工作有望常态化。尽管工程教育理念在我国高校已逐渐普及, 但是 16 年来的认证工作经验表明, 课堂教学成为工程教育改革的最后一公里软肋^[1], 其中增强学生工程素养和培养学生解决复杂工程问题能力的实验教学形状尤为薄弱。只有真正将基于产出的 OBE 工程教育理念真正

贯彻到课堂教学中, 才能确保高校认证合格的专业毕业生和其他签约组织认证合格的专业毕业生的能力“实质等效”。2019 年教育部印发《关于一流本科课程建设的实施意见》^[2]明确指出, 要建设具有高阶性、创新性和挑战度的“两性一度”一流课程, 形成多类型、多样化的教学内容与课程体系。提升高阶性, 课程目标坚持知识、能力、素质有机融合, 培养学生解决复杂问题的综合能力和高级思维。突出创新性, 教学内容体现前沿性与时代性, 及时将学术研究、科技发展

前沿成果引入课程。

(1) 工程教育专业认证:中国工程教育专业认证工作给高校带来的变化主要从“以学生为本、目标导向、持续改进”三个方面着手^[3],我国这些聚焦于培养学生能力的产出指标设置充分体现了以学生为中心的OBE教学理念进行自顶向下设计:首先结合社会需求、学校和学院发展定位制定培养方案,设立培养目标,合理设置毕业要求,能完全覆盖工程教育专业认证12条标准要求^[4];然后由课程体系(具体到每一门课程目标)支撑其达成需求,落实到每一门课程的教学大纲中,构建课程内容与毕业要求的支撑关系。专业在自评报告从学生、培养目标、毕业要求、持续改进、课程体系、师资队伍和支持条件,分27小项101条进行撰写和自我举证。以学生学习结果为教学驱动力,以学习产出作为评价依据,判断课程体系的设置是否合理、师资队伍与支撑条件达到相应水平、是否有利于学生达成预期培养目标?通过不断完善、不断创新、不断发展和提升的持续改进,实现其他六个大项指标的达成。

(2) OBE教学理念:成果导向(Outcomes-based Education, OBE)教育理念,要求构建“以学生为中心,产出导向”的人才培养体系,并持续改进确保工科专业毕业生达到行业认可的既定质量标准^[5]。

① OBE强调全覆盖:专业所有学生都能获得学习成功,但可以在不同的时间,采取不同的方法;

② OBE强调个性化考核和评定,以便教与学及时调整;

③ OBE强调基于学生学习成果的教学评价(评学),以对不同的学生采取不同的教学方法和手段以达成学习目标为评价依据;

④ OBE强调绩效责任,学校、教师根据教学效果评定和学生学习成果分析存在的问题,提出持续改进措施并实施;

⑤ OBE强调能力本位,教学目标应与培养的核心能力相对应,并能落实在每一门课程教学活动中。2019年教育全面开展一流本科课程建设,树立课程建设新理念,完善以质量为导向的课程建设激励机制,形成多类型、多样化的教学内容与课程体系。工程教育专业认证质量标准的基本载体同样是课程体系,其最终目的也是培养学生^[6-7]。因此,一流课程建设和OBE工程教育理念相融合、目标相通。

(3) 复杂工程问题:在工程教育专业认证通用标准的12条毕业要求中“1.2.3.4.5.6.7.10”八条都有涉及^[4,8],培养学生“分析与解决复杂工程问题能力”成为关注点。复杂性主要体现如下:

① 技术因素-综合运用、理论深度、工程背景;

② 非技术因素/外部制约因素-环境、社会、可持续、健康、法律、文化、伦理;

③ 非技术因素/内部制约因素-职业道德、团队意识、责任意识、合作精神。

自2017年起教育部一直推进新工科建设,全力探索形成领跑全球工程教育的中国模式,要求在高等学校课程建设与改革方面,把培养学生创新意识和工程能力摆在首位,在教学中努力实现高阶目标,将知识、能力、素质有机结合,培养学生解决复杂工程问题的综合能力^[9-11]。

2 自动化专业复杂工程问题设计与实现

针对复杂工程问题的多学科综合、多技术实现、多工程环节组合特征,我校自动化专业于2013年启动工程教育专业认证,2015年教改项目“基于工程教育专业认证的自动化专业改革与实践”得到学校支持,成立认证委员会、自评报告组、材料组、外联组等,当年申请获批。2016年我国成为华盛顿协议正式会员国,本专业入校考察获得通过(3年有条件),2019年再次成功申请,入校考察获得通过(6年有条件)。在培养学生解决复杂工程问题的能力方面,引导学生系统学习主要知识点;通过检测、控制、执行等环节实现其系统性;并通过设计性实验、综合课程设计和实习、毕业设计等知识应用和设计、研究开发训练过程体现其强工程特征的实践性。

专业初步设立智能车、机器人、新能源微电网、无人机四个复杂工程问题项目,将自动化专业课程联系起来,形成四个课程群;从大一到大四多学期连通,从文化课到专业课、实验课、课程设计、专业综合设计、毕业设计、生产实习及工程实训、大学生创新创业训练计划项目及各类竞赛;从课内到课外,通过多环节多渠道共同强化,综合非技术因素,系统培养学生解决复杂工程问题的能力。

下面“基于电气控制课程群的课程教学知识和能力接口设计”,以5kW太阳能光伏扶贫电站的直流变换器仿真实验为例,说明本专业系统培养学生解决复杂工程问题的能力。

3 基于培养解决复杂工程问题能力的电气控制课程群建设

课程组“以学为中心”基于产出的OBE教学理念,结合本校自动化专业电气控制课程群相关课程支撑毕业要求指标点设置课程目标,强化目标导向,以构建新能源微电网复杂工程问题为思路,进行电气控制课

程群的课程教学知识和能力接口设计,按照“培养目标-毕业要求-课程体系-课程群-主干课程-课程目标”递

阶控制的方式,完成知识布局,分“课程-专业综合设计-毕业设计”三个层次,组织并优化课程体系。

表 1 “5kW 光伏扶贫电站”教学案例复杂工程问题特征要求分解一览表

编码	包含的复杂工程问题	说明
DCDCPV SE101A	具有较高的综合性,包含多个相互关联的子问题,如基于单向直流变换器的电压稳定子系统、最大功率点跟踪子系统、基于双向直流变换器的光-储能源管理子系统。	光伏扶贫电站输出电压及其控制、光-储能源管理的直流母线电压控制、最大功率点跟踪控制的某些组合会导致不稳定的运行情况,导致新能源利用率降低。光伏输出稳定控制、储能稳定控制、放电电能质量与能源高效利用、成本增加的冲突。
DCDCPV SE102A	基于本仿真实验项目培养学生能够针对复杂工程问题,开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具,包括对复杂工程问题的预测与模拟,并能够理解其局限性。	光伏扶贫电站、光-储能源管理、最大功率点跟踪都是目前光伏发电高效利用的研究热点,目前还在探索中,学生理解其局限性,并用《控制系统仿真》《新能源电力系统模控制》所学到仿真软件和虚拟实验平台进行实验。
DCDCPV 201A /DCDCPV 202A	Boost / Buck 直流斩波电路如何降低太阳能光照强度和环境温度对电站输出电压变化的影响。学生学习 Boost / Buck,必须运用深入的光伏发电、直流变换器占空比调节等工程原理,需要通过建立合适的抽象模型才能解决,在建模过程中需要体现出创造性;经过分析才能得到解决。	这是各种影响因素的结果,例如:太阳能光照强度和环境温度等。① 在外部阳光不充足和环境温度低情况下,发电功率小、输出电压低;通过 Boost 直流斩波电路实现升压功能;② 在外部阳光充足时,发电功率大、输出电压高,通过 Buck 直流斩波电路实现降压功能;将光伏扶贫电站输出电压降低到规定范围内,维持输出电压稳定,便于负载使用。
DCDCPV 203A	涉及多方面的技术、工程和其它因素,并可能相互有一定冲突,通过协同攻关有效解决节省成本、简化控制与输出电压之间的冲突,使学生在从事工程设计时体现创新意识,能够考虑经济、环境、法律、伦理等各种制约因素。	为节省成本,采用一个 Buck/Boost 直流斩波电路代替一个用于降压的 Buck 直流斩波电路和一个用于升压的 Boost 直流斩波电路。随着一天时间的迁移,太阳在地球的辐射量由小变大、再由大变小,自适应变换 Buck/Boost 直流斩波电路的升压模式和降压模式,简化控制;维持输出电压稳定,提高电能质量。
DCDCPV 204A	光伏扶贫电站中电压环路相位裕度不一定能保证升压/降压的所有暂态响应中没有阻尼振荡。	太阳能光伏扶贫电站工程问题需要折中妥协,如何对阴影、气温变换、气候变迁等消极因素的选择还需要根据具体的情况进行分析。
DCDCPV 205A	光伏发电随机性和供电稳定性之间的冲突。太阳能存在不确定性,这不可控问题中涉及的因素可能完全包含在专业工程实践的标准和规范中。	理解基于电压调节器的电压单闭环控制,并应用于光伏发电输出控制,实现从直流变换器到光伏发电工程应用的扩展。需对其建立模型和分析,并了解光伏发电的最大功率点跟踪。
DCDCPV 206A	如何通过《电力电子技术》《自动控制原理》《计算机控制技术》《电力工程基础》《光伏发电与并网技术》《电力系统分析》《工程经济学》《人工智能》课程体系知识,解决光伏分店复杂工程问题。	理解基于电压外环调节器和电流内环调节器的双闭环控制,稳定输出,进一步实现基于储能装置的光伏发电实际工程应用,将自动控制理论用于有效解决太阳能光伏发电的复杂工程问题。
DCDCSE 301A	太阳能光伏发电不可控和光伏扶贫电站输出稳定之间的冲突。	考虑晚上无光伏发电需从电网取电能、白天阳光充足存在余电,增加适当储能装置,通过离网供电或并网移峰填谷实现碳中和;需建立模型分析其影响。
DCDCSE 302A	太阳能光伏发电不可控、和储能单元缓冲、电网能源补给之间的冲突。	考虑阴天阳光不足、夜晚没有阳光、大片阴影等情况,需增加双向直流变换器进行储能装置的能量采取;需建立光-储模型并分析其影响。
DCDCPV SE303A	如何通过课程体系相关知识,有效解决此复杂工程问题?	理解采用电压电流双闭环控制策略,稳定输出功率,进一步实现光储能源互联互通电系统仿真实验。综合运用电气控制课程群相关知识进行接口设计,有效解决光-储-网补给的复杂工程问题。
DCDCPV SE304A	光-储的能源互联互通系统中分布式共识机制。	问题涉及的因素没有完全包含在专业工程实践的标准和规范中
DCDCPV SE305A	光-储能源互联互通系统中能源管理智能合约。	问题相关各方利益不完全一致

通过《电力电子技术》《电力电子设计与实践》《自动控制原理》《计算机控制技术》《电力工程基础》《光伏发电与并网技术》《电力系统分析》《新能源电力系建模控制》《控制系统仿真》《人工智能》《工程经济学》《信息安全》,引导学生探索科学前

沿,培养解决复杂工程问题能力。

通过课程教学优化设计,让学生系统连贯学习电气控制主要知识点,并设计能力接口尽量让学生将知识融会贯通,在专业课程设计和毕业设计中培养具备解决复杂工程问题的能力。基于课程目标达成,以学

生为中心设计教学内容,给出案例培养学生创新意识,明晰“工程需求”,满足市场、客户需求,建立数学模型进行逻辑推理,自行设计实验、发现问题、分析问题和解决问题,采用线上线下融通两个空间的方式,灵活运用研讨式教学、探究式教学、文献研究、自主学习、多课程时空穿插等教学策略开展以学生为中心的

教学活动,开阔视野并提出更新方案,通过与控制理论、传感器、执行器、控制器、仿真等其他课程的知识汇集融合,运用科学理论和技术手段,考虑法律、健康、安全、文化、社会以及环境等非技术的因素,考虑研发、生产、运营全过程的低成本和新技术的可靠性,培养“解决复杂工程问题”能力^[12-13]。

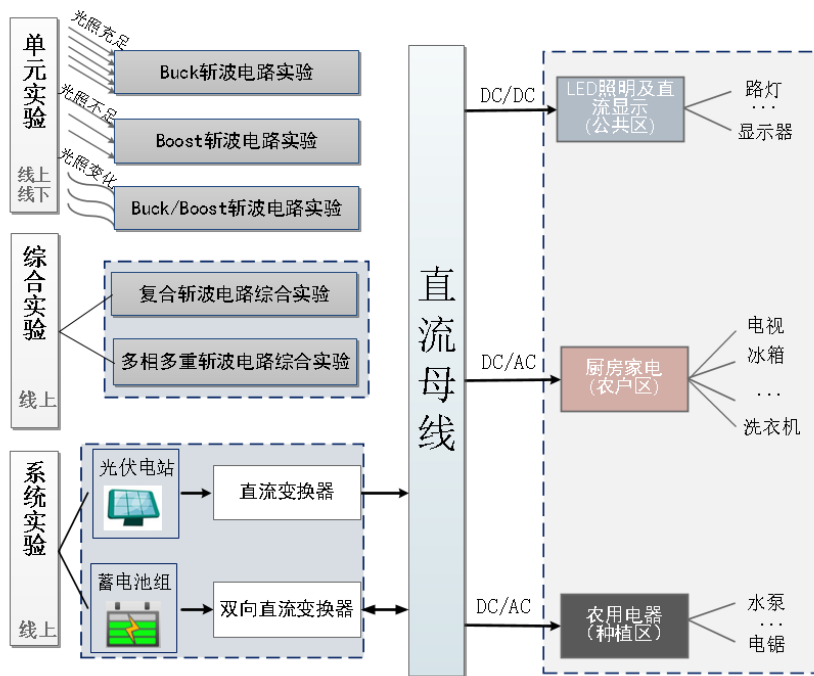


图1 “5kW 光伏扶贫电站”教学案例实际工程应用场景

4 以解决复杂工程问题能力培养的教学案例设计与实现

课程组老师通过问卷调查^[6-7]和访谈学生发现:

① 现有线下实验只是在不同厂家生产的电力电子试验台内设直流变换器模块,仅完成 Buck、Boost、Boost/Buck 三种基本斩波电路的验证实验:学生实现了降压、升压、升/降压三种直流电压变换功能,但不知道“学了能做什么?”、“怎么做?”、“做的效果如何?”。

② 由于学时有限、实习经费紧张,学生不能去现场参观;即使有机会参观,不一定能赶上光伏电站安装调试时段;就算能赶上,由于考虑人身安全和场地限制等问题,师生不能天天跟踪、时时学习和即时答疑;目睹整个安装的每个步骤;更不允许师生进行现场实验;这些已导致所学知识存在滞后和面窄问题。

课程组进行的工作主要有:

(1) 基于复杂工程问题知识性、系统性、工程性特征,着手进行基于电气控制课程群接口设计,选择具有良好先进性和挑战度的光伏扶贫电站,提高能源

利用率,融合贯穿电力电子新能源课程体系相关知识,自主设计解决新能源高效利用问题;

(2) 到太阳能相关企业进行光伏技术需求调研;

(3) 到湖南省各光伏扶贫建设工地学习:从场地铺平建设、底座塑形、地基加固、光伏组件和汇流箱及变压器选型、按照发电功率要求进行具体搭建、调试,完成拍摄照相案例素材积累;

(4) 制作时长 15 分钟的《地面光伏扶贫电站安装施工流程》短视频,内容丰富、五脏俱全,包括:

- ① 安全教育;
- ② 安装工具和设备;
- ③ 配重基础的制作安装;
- ④ 支架的安装(含防雷安装);
- ⑤ 组件安装;
- ⑥ 逆变器、配电柜安装;
- ⑦ 储能模块;
- ⑧ 交(直)流线缆的连接;
- ⑨ 系统调试和整体展示。

(5) 研发“5kW 光伏扶贫电站”教学案例,全方

位、多角度的加强学生的知识储备，培养学生的创新性能力、开拓性思维，以及非技术指标素养和解决复杂工程问题的能力，见表1。

实际工程应用场景的“5kW 光伏扶贫电站”教学案例（见图1）由光伏扶贫电站、直流变换器、储能、控制器四模块组成（见图2），从简单到复杂、由浅入深设置教学内容，不同层次用户自主选择相应水平实验，展开个性化教学；通过参数设置、操作和观察分析，掌握电气参数对直流变换器输出电压/电流的影响规律；理解电站组成，直流变换器、储能模块、电压单闭环和电流电压双闭环控制的作用。作为电气新能源复杂工程问题，本教案按照验证、设计、综合、拓展四部分完成综合评价；此外针对本实验的调查问卷涉及操作容易度、理论实际结合度、满意度等内容，通过教师评学、学生自评、引导视频播放量、实验成功率、安全操作等多项指标进行基于评学的形成性综合评价，通过持续改进机制不断更新完善。

本案例采用“线上学习操作”“线下设计创新”相结合的混合式教学方式，可以完成以下工程实践教学：

① 线下验证实验：通过《YL-209 电力电子技术与自动控制系统实验实训装置》的“斩波电路实验”，初步掌握 Buck/Boost 变换器的调试方法（已作线下实验教学安排，提供操作视频），得到电流连续与不连续时的波形。

② 线上单元验证实验：分析光伏发电原理，了解光伏扶贫站结构、安装流程，理解其中直流变换器作用；从单电池、多电池串联、多电池组并联成阵列，按照功率需求、多阵列通过串并联搭建 5kW 光伏扶贫电站的流程。验证发电输出受太阳能光照强度和环境温度影响，依据实际发电电压，选择相应斩波电路实现升压、降压和自适应升/降压功能。

③ 线上综合实验：以光伏扶贫电站和其他工程应用背景的实际电压变换需求作为实验任务，选择合适的基本斩波电路，组成复合斩波电路和多重多相斩波电路，计算电感、电容等参数；选择相应占空比，培养学生应用知识、解决问题，以及独立思考和运用技能的能力；

④ 线上设计实验：从单蓄电池、多蓄电池串组并联了解储能模块所起作用；基于电压调节器的电压稳定单闭环控制；借助于双向直流变换器储能缓冲作用，设计电压外环、电流内环控制系统。

⑤ 拓展实验：根据具体电站发电功率和环境条件等工程情况，选择合适的光伏发电模块、直流变换器模块、储能模块、控制器模块，设计光-储-网能量互补的新能源微电网复杂工程。

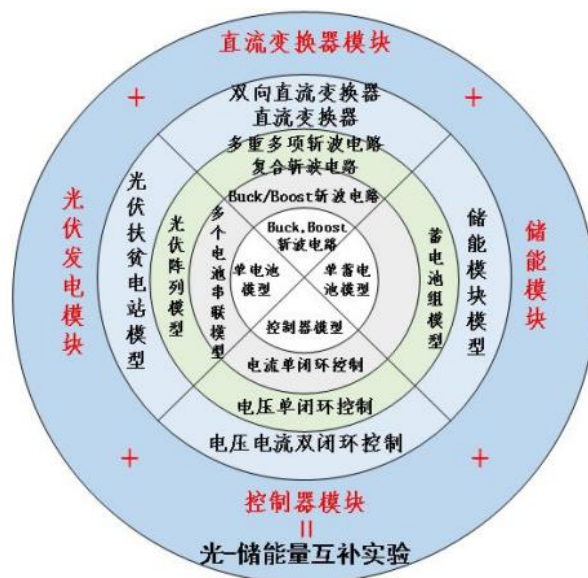


图2 基于模块化的教案复杂工程问题设计

5 成效和结论

(1) 通过本案例的学习，自动化专业学生不但能通过短视频形象理解太阳能光伏发电原理和实现过程，还能设计不同工程应用场合定制功率的光伏扶贫电站，激发学习兴趣和科研创新意识，提高解决复杂工程问题的能力。

(2) “电气控制课程群的课程教学知识和能力接口设计”项目2018年获得资助，研发的“基于光伏扶贫电站的直流变换器虚拟仿真实验”2019年获湖南省一流课程，2020年疫情期间作为教育部推荐线上教学软件^[4]，既为广大电气类师生提供远程实习和随处可完成新能源实验的平台，也为新能源工作者和社会爱好者提供深造平台，现已推广至全国38所本科院校和26所职业技术学院，扩展社会用户至威胜电气、茂硕电气、兴业太阳能等30家企业，实验用户达6523人，实验综合评分5.0。此外《人工智能实践》《人工智能与科学之美》《模拟电子技术II》《专业综合设计（多旋翼无人机设计原理及应用）》《碳中和背景下庭院绿色建筑智能控制仿真实验》获省级一流课程；《信息安全》《信息技术与创新创业》获国家级一流课程。

(3) 案例教学丰富了自动化专业教学内容，提高实验教学的先进性和高阶性，学生通过完成光伏扶贫电站发电及控制实验的全过程，实现知识学习和能力培养，拓展视野，培养学生具备非技术因素的素养；近3年参加全国大学生新一代信息通信技术大赛全国总决赛、“西门子杯”中国智能制造挑战赛全国总决赛、全国大学生智能汽车竞赛、中国大学生过程装备实践与创新大赛、全国大学生物联网设计竞赛全国总决赛、

全国大学生电子设计竞赛、全国计算机仿真大赛、iCAN 国际创新创业大赛、全国大学生嵌入式芯片与系统设计竞赛、中国机器人及人工智能大赛，共获得特等奖 2 项、一等奖 9 项、二等奖 11 项、三等奖 13 项。

下一步将引导课程群建设朝“面”和“系统”方向发展，以点促面，从单个项目建设逐渐向完整体系方向发展，逐渐形成体系化、标准化和装备化的高等教育的信息化教学新体系^[12]。

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 2018,(17):7-10.
- [2] 候红玲, 张军峰, 任志贵, 等. 基于 OBE 理念反向设计人才培养方案[J]. 高教学刊. 2018,(24):167-169
- [3] 董洁, 彭开香, 李擎, 等. 工程教育专业认证中课程质量定性评价方法研究[J]. 高等理科教育. 2019(6):56-64.
- [4] 工程教育认证通用标准解读及使用指南(2022 版). 中国工程教育专业认证协会. 2022,11(8).
- [5] 张军, 郭堂瑞, 等. 基于 OBE 理念的数字逻辑课程思政探索与实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2023,11(02):13-17.
- [6] 陈莹. 成果导向教育理论在“光伏发电技术”实验教学中的实践探索[J]. 教育教学论坛, 2020,(1):200-201.
- [7] 罗纯, 吴先勇. 案例教学的学习理论解析[J]. 教学与管理. 2018,(9):12-15.
- [8] 沈宏兴, 郝大魁, 江婧婧. "停课不停学"时期在线教学实践与疫后在线教学改革的思考-以上海交通大学为例[J]. 现代教育技术. N2020.30(5):11-18.
- [9] 教育部高等教育司. 教育部关于一流本科课程建设的实施意见[Z]. 教高司函[2019]8 号.
- [10] 教育部高教司司长吴岩: 中国“金课”要具备高阶性、创新性与挑战度[EB/OL]. 2018-11-29.
- [11] 余超, 冯旸赫, 张俊格. “人工智能”课程教学模式改革及创新实践. 计算机技术与教育学报, 2022,10(4): 42-45.
- [12] 王兵书, 冯喜康, 马春燕. 文化元素融入“数据结构”课程思政的教学探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2022,10(3): 60-64
- [13] 王艳秋, 燕孝飞. 计算机类专业操作系统课程思政教学改革探究[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(5): 121-124
- [14] 教育部办公厅. 教育部办公厅关于开展 2019 年线下、线上线下混合式、社会实践国家级一流本科课程认定工作的通知. 教高厅函[2019]44 号.