

新工科视域下虚实结合的物理 化学实验教学改革探索^{*}

谢爱娟, 刘文杰, 孔 泳, 罗士平, 陈艳丽

(常州大学 石油化工学院, 江苏 常州 213164)

[摘要]针对传统实验教学模式的弊端,常州大学石油化工学院以真实的实验教学为基础,借助虚拟仿真技术构建了可在线交互、虚实结合的物理化学实验教学新模式,按课前、课中、课后三个阶段实施教学,并建立了合适的教学评价体系。教学实践证明,虚实结合的实验教学模式能够明显提高学生的实验成绩,培养学生的自主思考能力,有利于新工科视域下多元化、创新型卓越人才的培养。

[关键词]新工科; 虚实结合; 物理化学; 实验教学

Exploration on the Teaching Reform of Physical Chemistry Experiment Combining Virtual and Real from the Perspective of New Engineering

Xie Aijuan, Liu Wenjie, Kong Yong, Luo Shiping, Chen Yanli

(School of Petrochemical Engineering, Changzhou University,
Changzhou 213164, Jiangsu, China)

Abstract: Aiming at the disadvantages of the traditional experimental teaching mode, a new physical chemistry experimental teaching mode combining virtual and real was constructed, which can be interacted online on the basis of real experimental teaching and with the help of network virtual technology. The teaching was implemented from three aspects, namely pre-class, in-class and after-class. At the same time, a detailed evaluation system adapt to the new experimental teaching mode was built. Practice has proved that the experimental teaching mode combining virtual and real can obviously improve students' experimental performance and cultivate students' ability of independent thinking. It is helpful to

[作者简介] 谢爱娟(1968-),女,高级实验师,硕士。

[通信作者] 谢爱娟, E-mail: xaj@cczu.edu.cn。

^{*} 基金项目:2020年常州大学教育教学研究课题“虚实结合的实验教学模式研究与实践”(GJY2020061);2021年江苏省高等教育教改研究立项课题“化工类专业‘四传一反’核心课程群的建设研究”(2021JSJG138);“物理化学立体化课程体系的构建与探索”(GJY2020034)。

cultivate diversified and innovative talents in the new engineering field.

Key words: New engineering; Virtual and real combination; Physical chemistry; Experimental teaching

新工科代表的是最先进的行业发展方向^[1],其内涵是以立德树人为引领,以继承、创新、融合、共享为主要途径,培养多元化、创新型卓越工程人才^[2]。实验教学作为培养学生创新思维和团队意识的关键环节,是实现理论升华的重要途径^[3]。物理化学实验是借助物理学的方法和手段,综合运用多种基础化学实验中涉及的基本研究方法和工具,探索和验证物质的物理性质及其化学反应基本规律的一门课程,具有很强的理论性和实践性^[4]。在新工科背景下,借助现代化网络技术,探讨虚实结合的物理化学实验教学方法,开展由虚到实、由浅入深的实验教学,有助于提高学生的实验热情,培养卓越工程人才^[5]。

一、物理化学实验教学现状

(一) 实验教学安排

我院物理化学实验属于基础化学实验,授课内容包含热力学、动力学、电化学等 11 个实验,共 40 学时。该课程的授课对象为已掌握基本操作技能且具备一定专业能力的大二和大三年级学生,涉及化工、应化、能化、食品、制药、药学、材化、生工、高分子等专业的近 30 个班级,约 1 000 人次。该实验课程跨越两个学期,分别在大二上学期、大三下学期各开设 5 个实验。参加实验的每个班级分为甲乙两组,每组约有 15 人,因此每个实验至少配备 15 套实验设备。每学期的各个实验同步开设,各实验小组依次完成。在这种教学安排下,实验教学与理论教学很可能不同步,从而导致教学效果不理想。

(二) 教学模式

目前我院的物理化学实验课程采用传统教学模式,包括以下步骤:1. 学生在课前进行实验预习,完成纸质实验报告的前五项内容,包括实验目的、实验原理、实验装置示意图、实验试剂仪器、实验内容;2. 指导教师在实验课开始时利用 30 分钟概述实验原理,讲解实验操作及注意事项;3. 学生独立完成实验操作,记录相关数

据,并在指导教师认可签字后离开;4. 学生在课后自行处理实验数据(部分有时间限制的实验,需与其他同学共享实验数据),完成实验报告;5. 指导教师评阅实验报告,并给出最终成绩^[6]。在这种传统教学模式下,实验方案一成不变,实验结果千篇一律,学生对实验过程的分析和讨论也大同小异。

(三) 课程特征

物理化学实验是一门需要综合运用物理学和化学领域的技术方法、原理及数学运算知识完成任务的课程,具有理论性较强、使用仪器种类较多、实验操作较复杂、数据处理相对较难等特点^[7],在有限的 40 学时内要求学生熟练掌握实验技能有较大难度,教学效率相对较低,教学效果也不佳。在传统的教学模式下,绝大多数学生只是机械地完成预习报告,对实验原理和过程缺乏深入的思考。如“碳钢在碳酸氢铵溶液中极化曲线的测定”实验操作要点较多,恒电位仪器以及三电极体系的电极接线操作很容易出错,学生通过实验课上教师的一次性讲解就掌握相关知识和技能,是有难度的。另外,学生在实验过程中难免会犯错,实验成功率较低,这又进一步加剧了学生的畏难情绪,最终导致实验报告抄袭或雷同的现象发生^[8]。

二、虚实结合的物理化学实验教学的可能性

随着网络技术的飞速发展,开发虚拟仿真实验正成为实验教学改革的重要举措^[9]。随着雨课堂、超星课程、MOOC、QQ 在线授课、腾讯会议等在线课程和教学平台的出现,以虚拟仿真实验为代表的线上实验教学作为线下实验教学的补充,如雨后天春笋般蓬勃发展。近年来,越来越多的高校将虚拟仿真实验融入教学,构建了虚实结合的混合式实验教学新模式,充分利用网络平台的灵活和逼真等优势,提高实验教学效率,有效拓展教学的空间和时间,这成为线下教学的有益补充^[10]。

虚拟仿真实验内容充实、形象直观,且支持重复操作,有助于学生熟悉相关仪器的操作流程,了解操作过程中的重点和难点,从而提高实验效率。目前,我校使用的虚拟共享平台主要有北京微瑞集智科技有限公司开发的虚拟仿真实验室管理平台,化工国家级虚拟仿真实验教学中心(常州大学),江苏省化学化工虚拟仿真实验教学共享平台(常州大学),爱课程(iCourse)平台和中国大学MOOC平台等。虽然虚拟仿真实验教学具有明显的优势,但理工科的实验教学不能完全依赖这种方式,因为虚拟仿真实验的操作步骤已经程序化,且实验结果理想化。而现场实验操作时会遇到各种实验现象,有很多影响因素,实验结果也会有差异,分析这些差异有助于培养学生的实践动手能力和分析问题的能力。因此,要培养多元化创新型新工科人才,应将虚拟仿真实验与线下实验相结合,建立虚实结合、优势互补的实验教学模式^[9]。

三、虚实结合实验教学模式的构建和实施

(一)实验教学新模式的构建原则

虚拟仿真实验教学项目的构建遵循以下原则:1. 体现基本原理、基本概念。如“电动势法测定 AgCl 的溶度积 K_{sp} ”实验的原理相对复杂,而“液体黏度的测定”实验涉及最基本的仪器和概念,虚拟仿真实验可以方便学生反复回看,直至掌握相关原理和概念。2. 解决耗时较长、操作繁琐的问题。如“二组分合金相图的绘制”实验耗时较长,而“碳钢在碳酸氢铵溶液中极化曲线的测定”实验操作要点较多、容易出错,虚拟仿真实验可以实现模拟操作,解决实验耗时长和操作繁琐的问题。3. 解决有毒有害、危险或成本较高的问题。虚拟仿真实验使具有高污染、高危险、高成本等特点的实验操作成为可能,有助于学生完全掌握实验现象全貌。如“双液系气液平衡相图的绘制”实验中试剂用量较大,虽然采取了回收策略,但收效甚微,且环己烷易挥发、极易燃烧、有一定的毒性,所使用的蒸馏仪容易损坏,这些均导致实验成本较高。通过虚拟仿真实验,让学生预先进行模拟操作,既可节省实验成本,又可节省时间。在遵循

以上原则的前提下,我们以余法红等的理念为指导^[11],以虚拟仿真、现场操作和虚实结合为三大模块,构建了虚实结合的物理化学实验教学体系(见图1),并结合现有的物理化学实验项目,借助虚拟仿真实验平台,构建了虚实结合的物理化学实验教学新模式,实现了整个实验操作过程的模拟和实验原理的在线自测。

(二)虚实结合的实验教学模式的实施

实验教学过程分为三个阶段:课前“以虚带实”,课中“虚实结合”,课后“实中有虚”。下文以物理化学实验中的经典实验“二组分合金相图的绘制”为例,介绍虚实结合的实验教学模式的实施。在传统教学中,该实验采用热分析法测定,需把样品加热到约 350°C ,然后再缓慢冷却到 130°C 以下。该实验耗时较长,平台和拐点不易分辨,并且属于高温实验,危险性较大,因此适合采用虚实结合的实验教学模式。

1. 课前“以虚带实”

实验前,教师根据“二元合金相图的绘制”实验的教学要求编写实验操作任务单,在线发送给学生预习,同时讲解热分析法、步冷曲线、相变、相律等基本概念及原理,强调实验注意事项。学生先通过虚拟仿真实验平台,按照教师下达的任务要求进行课前预习,了解实验目的和实验原理,熟悉 KWL-80 可控升温电炉和 SWKY-I 数显温控仪的使用方法,明确实验的各个环节和操作流程;然后线上模拟热分析法测绘 Sn-Bi 步冷曲线,继而绘制二元金属相图,巩固所学的相律等知识;最后教师依托虚拟仿真实验平台引导学生进行互动答疑、在线自测,并进行相应的评分。教师会对预习过程中出现的问题进行解答和分析,为现场教学做好准备^[11]。

2. 课中“虚实结合”

在现场操作环节,教师指导学生进行实验操作,对一些重要操作进行讲解示范并加以强调,包括样品管加热与冷却应放的炉膛、冷风量的调节,尤其是强调分辨传感器 I 和 II 的重要性;同时强调实验安全,提醒学生小心烫伤等。在讲解的同时,教师在交互界面上通过动画演示温度变化过

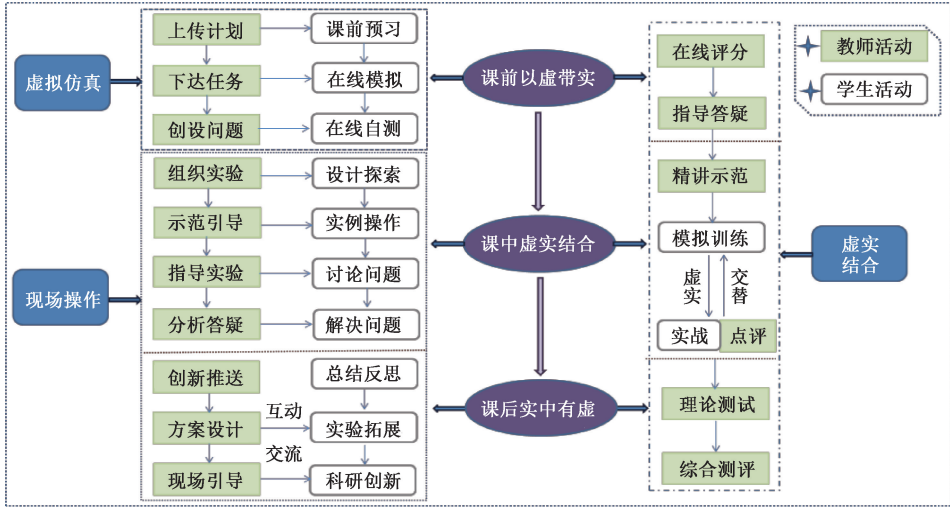


图1 虚实结合的物理化学实验教学体系

程,特别讲解样品熔化过程的实验特征,加深学生的印象,并利用云录制功能录制讲解过程视频,方便学生反复回看。学生在虚实交替的模拟训练中,完成虚中有实、虚实交替的实验过程。针对实验过程中遇到的问题,学生可与老师和同学相互探讨,找到解决问题的方案。最后,学生记录实验数据,由指导教师认可后签字,同时教师对学生的实验情况进行初步评分^[11],学生之间也可相互点评。这样的过程实现了线上虚拟课堂和线下实验操作的相互补充、相互衔接^[12]。

3. 课后“实中有虚”

实验课后,学生整理实验数据,绘制二元合金相图,同时就实验结果进行总结反思,分析纯物质、低共熔混合物、合金的拐点和平台出现的温度与理论值是否存在差异以及影响因素有哪些,并提交分析报告,完成最后的理论测试。在此基础上,教师可以突破现有的实验框架,大胆尝试研究性实验,培养学生的综合能力^[13]。如教师及时提供初步的科研创新方案,鼓励学生拓展思维,探讨二元合金相图与双液系相图的区别与联系,思考热分析法的具体用途以及热电偶在科研中的应用。如在“碳钢在碳酸氢铵溶液中极化曲线的测定”实验中,利用极化曲线只能得到金属阳极过程的活性溶解区、钝化过渡区、稳定钝化区以及过钝化区的电位范围,并不能揭示引起金属钝化的原因及钝化过程的详细机理,因此教师可以在实验

结束后引导学生了解目前钝化机理的主要观点——成相膜理论和吸附理论,探索缓蚀剂等因素对腐蚀速度的影响;同时还可以让学生通过电化学传感器来测定牛奶中的尿素、红酒中的咖啡酸,以及茶叶中的没食子酸等常见食品中的微量元素,激发学生的科研积极性。在进行创新实验的过程中,学生应积极与教师交流互动,制定出最终的实验方案;教师现场指导学生进行相关的科研创新活动,并对实验情况进行综合测评。

(三)虚实结合的教学评价体系

实验是一个综合的过程,因此实验教学评价不能仅以实验报告为依据,而是应涵盖实验过程中的各个环节。针对虚实结合的实验教学模式,我们在之前设计的 SPOC 实验教学评价体系的基础上进行了细化^[14],分为平时成绩(90%)和理论笔试(10%)两部分。平时成绩为每学期多个实验成绩的平均值,而每个实验成绩的构成又包括课前预习(20%)、课堂操作(30%)、课后报告(50%)三部分内容(见表1)。课前预习环节主要考查学生对实验目的的了解程度、预习的认真程度,查阅相关文献的能力,对实验原理及基本概念的掌握程度,综合考虑实验内容、实验步骤的能力以及对相关实验装置图的构造原理、所用试剂毒性的了解情况等;在线测试结果作为考查学生预习能力的重要指标。课堂操作环节主要从课堂纪律、分工合作、实验现象、数据记录、实验效率、安

表 1 虚实结合的物理化学实验教学评价体系

评价组成	权重	评价指标	指标分值	评价内容	主要观测点	评价分值	评价方法	评价方式
单个实验成绩	0.9	课前	20	①实验目的	对实验目的的了解、预习的认真程度、查阅相关文献的能力	3	形成性评价	教师评价 学生自评 学生互评
				②实验原理	基本知识的掌握、基本概念的理解	4		
				③实验内容	独立思考能力、问题分析能力、实验步骤的掌握程度	5		
				④装置试剂	实验装置图的构造原理、试剂的分类、对试剂毒性的了解情况	3		
				⑤在线测试	网上讨论的参与、探讨问题的能力、测试结果	5		
		课中	30	①课堂纪律	实验出勤率、实验过程中的认真程度	4	过程性评价	
				②分工合作	实验动手能力、分工协作能力、解决问题的能力	5		
				③实验现象	基于实验的观察、分析、思考,探究问题的能力	6		
				④数据记录	实验数据的完备性、真实性、准确性,记录和处理数据的能力	6		
				⑤实验效率	实验时间安排的合理性	4		
				⑥安全卫生	试剂、仪器的归位,桌面、地面卫生的打扫,门窗水电的安全措施	5		
		课后	50	①整体概貌	报告的整洁规范、认真程度	5	总结性评价	教师评价
					数据的出错率、重做率	10		
					思考题的完成率、准确率	10		
				②工作图表	图表的布局构思,图例、线条、字体等的设计	10		
				③实验结果	实验结果的正确性、误差率	5		
				④讨论反思	对相关知识的认知与理解、实践能力的提升	5		
				⑤课后拓展	搜集、整理、分析资料的能力,文献查阅能力,创新设计能力、创新技能	5	发展性评价	
理论笔试	0.1		100	①基础知识	基本原理、基本测量技术的掌握程度,相关仪器的使用方法	100	综合性评价	

全卫生这 6 个方面来综合考查学生对实验的重视程度以及学生的综合能力。实验数据的完备性、真实性、准确性以及最后的整理工作也纳入考核。

课后报告环节主要考查实验报告的整洁规范性、学生的认真程度、数据分析和思考题的完成情况,图表的布局构思,实验结果的讨论与反思,自主搜

集、整理、分析资料的能力,以及文献查阅能力、创新设计能力、创新技能。理论笔试的目的是考查学生对实验知识的掌握程度,题型包括选择题和简答题,内容涉及同一学期所做实验的相关知识。虚实结合的实验教学评价采用形成性评价、过程性评价、总结性评价和发展评价等方法^[14],力求客观、公正、全面地反映学生的实验能力。评价方

式包括教师评价、学生自评和学生互评。

(四)实验教学效果分析

我们选取化工专业 2018 级和 2019 级各一个班作为试点,将每个班的学生分成甲、乙、丙、丁 4 组,每组 8 人左右,分别采用传统实验教学模式和虚实结合的实验教学模式进行对比教学,教学完成后的学生最终成绩如表 2 所示。结果表明,采

表 2 两种教学模式教学效果比较

班级	虚实结合的实验教学模式							传统教学模式						
	组别	序号	学号	姓名	平时 (90%)	期末 (10%)	总评	组别	序号	学号	姓名	平时 (90%)	期末 (10%)	总评
化工 2018 级	甲	1	18 * 01	冯 * 杉	87	47	83	乙	17	18 * 18	李 * 昌	84	44	80
		2	18 * 02	郭 * 焕	84	43	80		18	18 * 19	刘 *	79	41	75
		3	18 * 03	李 * 铃	87	48	83		29	18 * 20	刘 * 豪	73	28	69
		4	18 * 05	刘 * 园	88	64	86		20	18 * 21	刘 * 同	69	28	65
		5	18 * 06	宋 *	83	63	81		21	18 * 23	申 * 彬	78	45	75
		6	18 * 07	王 * 会	85	56	82		22	18 * 24	苏 * 锋	84	43	80
		7	18 * 08	王 * 怡	86	69	84		23	18 * 25	王 *	91	68	89
		8	18 * 09	韦 * 润	84	40	80		24	18 * 26	吴 *	86	59	83
		平均分				86	54		82	平均分				81
	丙	9	18 * 10	谢 * 言	83	43	79	丁	25	18 * 27	夏 * 明	87	51	83
		10	18 * 11	张 * 博	85	56	82		26	18 * 28	徐 *	80	29	75
		11	18 * 12	张 * 琦	89	35	84		27	18 * 29	姚 * 航	74	41	71
		12	18 * 13	郑 * 绮	89	65	87		28	18 * 30	于 *	76	49	73
		13	18 * 14	朱 * 婧	88	42	83		29	18 * 31	袁 * 阳	83	30	78
		14	18 * 15	陈 *	83	56	80		30	18 * 32	周 * 玺	79	31	74
		15	18 * 16	戴 *	84	33	79		31	18 * 33	朱 * 瑞	89	46	84
		16	18 * 17	黄 *	84	43	80		32	18 * 30	张 * 淳	85	52	82
							33		18 * 27	张 * 杰	85	16	78	
平均分				86	47	82	平均分				82	38	77	
化工 2019 级	甲	1	19 * 02	陈 * 勤	88	48	84	乙	16	19 * 19	刘 *	78	37	74
		2	19 * 03	冯 * 惠	89	38	84		17	19 * 20	刘 * 奇	76	26	71
		3	19 * 04	郭 * 赢	77	28	72		18	19 * 22	欧 * 浪	78	19	72
		4	19 * 05	郭 *	90	41	85		19	19 * 23	蒲 *	73	23	68
		5	19 * 06	何 * 雨	92	42	87		20	19 * 24	孙 * 航	80	32	75
		6	19 * 07	柳 * 怡	90	46	86		21	19 * 26	徐 * 楠	74	29	70
		7	19 * 09	罗 * 含	90	26	84		22	19 * 27	杨 *	80	20	74
		8	19 * 10	王 * 悦	89	41	84		23	19 * 28	杨 * 轩	71	24	66
		平均分				88	39		83	平均分				76
	丙	9	19 * 11	张 * 樱	79	33	74	丁	24	19 * 29	虞 * 迪	89	40	84
		10	19 * 12	朱 * 霖	87	26	81		25	19 * 30	喻 *	86	21	80
		11	19 * 13	单 * 香	85	42	81		26	19 * 31	张 * 东	78	36	74
		12	19 * 14	韩 * 国	83	35	78		27	19 * 32	郑 * 元	77	32	73
		13	19 * 15	黄 * 羽	91	45	86		28	19 * 33	周 *	76	29	71
		14	19 * 17	李 *	89	31	83		29	19 * 01	陈 * 艳	79	33	74
		15	19 * 18	李 * 宇	82	48	78		30	19 * 03	聂 *	81	34	76
		平均分				85	37		80	平均分				80

教学[J]. 淮海工学院学报(人文社会科学版), 2012,10(3):84-86.

- [11] 李玉文. 药学专业英语教学探究[J]. 工会论坛(山东省工会管理干部学院学报), 2011, 17(2): 144-145.

- [12] 李涵,张海成,张一翀. 新冠肺炎疫情防控期间高

校“课程思政”与“线上教学”的融合机制[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2020(11):20-22.

- [13] 扈畅. 关于理工科专业英语教学改革 of 若干思考[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2005(1):75-77.
- [14] 李静. 浅谈翻转课堂教学模式在高校教学中的应用[J]. 电子制作, 2016(2):60.

(上接第 73 页)用虚实结合的教学模式的小组成员(甲组、丙组)平均实验成绩明显高于采用传统教学模式的小组成员(乙组、丁组)的平均实验成绩,这不仅体现在理论笔试成绩上,还体现在总评成绩上。可见,虚实结合的实验教学能够显著提升教学质量和效果。

四、结语

虚实结合的实验教学具有虚实并存、优势互补的特点,能够克服传统实验教学模式的弱点,实现资源、空间和时间的有效融合,节省教学成本、时间成本,创造逼真的学习情境。虚实结合的实验教学过程凸显了真实性、互动性和趣味性,能够充分调动学生的实验积极性。实践证明,虚实结合的实验教学模式能增强学生的感性认识,强化学生的实验操作能力,提高实验效率,有益于新时代创新工程师的培养。(责任编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 王元卓,隋京言. 新工科背景下的大数据专业建设与人才培养[J]. 中国大学教学, 2018(12):35-42.
- [2] 谢爱娟,陶宇炜,薛冰,等. 践行 STEAM 理念开展新工科建设——电化实验教学对工科学生创新能力的培养[J]. 化学教育(中英文), 2020,41(21): 49-54.
- [3] 阎群,李擎,崔家瑞,等. 新工科背景下实践类课程混合教学模式研究[J]. 实验技术与管理, 2021,38(1):198-201.
- [4] 陈素艳,林郑忠,欧光南. 物理化学实验量化评价体系的构建[J]. 实验室研究与探索, 2019,38(4): 179-183.
- [5] 朱新杰,王庆九,顾大强,等. 虚实结合的工业机器

人实验教学方法[J]. 实验技术与管理, 2020,37(10):167-170,200.

- [6] 赵尧敏,崔铁兵,张留学. LBL 和 TBL 组合教学模式在物理化学实验教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2020,39(8):218-222,299.
- [7] 肖厚贞,张军锋,林允全,等. 基于蓝墨云班课的“物理化学实验”微课设计与应用[J]. 化学教育(中英文), 2020,41(6):41-46.
- [8] 贾雪平,葛明,张跃华,等. 基于 SPOC 和慕课堂的物理化学实验混合式教学改革实践[J]. 大学化学, 2021,36(7):2011050.
- [9] 钟凌云,叶耀辉,杨明,等. 虚实结合的层次化中药炮制学实验教学改革探索[J]. 实验室研究与探索, 2020,39(6):180-184.
- [10] 曹红翠,马成海,孙春艳,等. “线上+线下”混合式教学模式在物理化学实验中的应用[J]. 广东化工, 2020,47(16):198,197.
- [11] 余法红,陈梅佳,夏小云,等. 虚实融合的生物制药实验教学设计[J]. 化学教育(中英文), 2019,40(6):71-75.
- [12] 冯凌云,王彩芳,郭灿彬. “线上线下,虚实结合”的工业机器人实践教学模式设计与实现[J]. 实验技术与管理, 2021,38(1):217-222.
- [13] Xie A J, Tao Y W, Zhang W Q, et al. Synthesizing $\text{CeO}_2\text{-NiTiO}_3/\text{attapulgite}$ and investigating the conversion rate of NO_x , sulfur resistance, N_2 selectivity, and stability of the catalyst through applied SCR by upper-level undergraduate students [J]. Journal of Chemical Education, 2020,97(6):1660-1665.
- [14] 谢爱娟,罗士平,孔泳,等. SPOC 物理化学实验翻转教学探索[J]. 实验技术与管理, 2017,34(9):211-214.