

仪器分析实验助力拔尖人才培养的教学实践

李宣东*, 张红霞, 李欣, 张潇, 周丽, 王进福

哈尔滨工业大学化工与化学学院, 哈尔滨 150001

摘要: 基于成果导向教育OBE教学策略和问题式学习PBL教学法, 设计了小规模限制性在线课程SPOC+虚拟仿真实验+QQ群+微信群+教学六步法的仪器分析实验混合式教学, 形成了思政引领、科教融合、竞赛驱动的创新型教学模式, 拓宽了学生学术视野, 强化科学素养、创新思维、科研能力和热爱化学学科的情操, 提高了课程的挑战度, 使化学能够更好地服务于其他学科和专业, 助力拔尖人才培养体系的构建与实践。

关键词: 课程思政; 科教融合; 混合式教学; 虚拟仿真实验; 拔尖人才

中图分类号: G64; O6

Teaching Practice in Instrumental Analysis Laboratory to Help Cultivate Top Talents

Xuandong Li*, Hongxia Zhang, Xin Li, Xiao Zhang, Li Zhou, Jinfu Wang

School of Chemistry and Chemical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China.

Abstract: Based on OBE (outcome-based education) teaching strategy and PBL (problem-based learning) teaching method, the hybrid teaching of SPOC (small private online course) + virtual simulation experiment + QQ group + WeChat group + teaching six-step method of instrumental analysis laboratory is designed to form an innovative teaching mode. This innovative teaching mode is led by course ideology and politics, integrates science with education, and is driven by competition, which broadens students' academic vision, strengthens students' scientific literacy, innovative thinking, scientific research ability and stimulate their passion for chemistry. This new teaching mode improves the challenge of the course, makes chemistry curriculum better serve other disciplines and majors, and helps the construction and practice of the system of cultivating top talents.

Key Words: Course ideology and politics; Integration of science and education; Blended teaching; Virtual simulation experiments; Top talents

教育兴则国家兴, 教育强则国家强^[1]。高等教育发展水平是一个国家发展水平和发展潜力的重要标志^[2]。党的十八大以来, 我国高等教育与时代同行, 建成世界最大规模高等教育体系, 高等教育进入世界公认的普及化阶段, 一批大学和一大批学科跻身世界先进水平, 人才培养范式全方位改革, 在世界高等教育范围内发出了中国声音, 提供了中国经验、贡献了中国智慧^[3]。

近年来, 教育部以新工科、新医科、新农科和新文科“四新”建设为推进, 全面提高高等教育人才培养质量。新时代全国高等学校本科教育工作会议强调“以本为本”“四个回归”, 全面打响振兴本科教育攻坚战。实施一流本科专业建设和一流本科课程建设“双万计划”, 不断推动高等教

收稿: 2022-10-26; 录用: 2022-12-09; 网络发表: 2023-01-16

*通讯作者, Email: lixuandong@hit.edu.cn

基金资助: 2021年哈尔滨工业大学混合式教学模式改革项目

育内涵式发展^[3,4]。

仪器分析实验是现代分析化学的重要组成部分,利用大型分析仪器通过测量物质的理化性质,获取物质的化学组成、含量及化学结构,解决化学、化工、材料、食品和环境等复杂工程问题,对于学生的动手能力、实验技能和科学态度的培养起着至关重要的作用^[5-7]。

课程采用混合式教学,其中线上12学时,线下36学时,共48学时,1.5学分;面向专业:化学、材料化学、应用化学以及化学工程与工艺、能源化学,是一门化学与化工专业的必修实验课,授课对象是大三本科生,内容涉及光谱分析、色谱分析、热分析等分析测试手段。可以开出18个实验项目,每年选择9-10个实验项目,每个实验项目为4学时,实验共两轮,分组授课,即每轮4-5个实验项目,每班分为4-5组,每组2-3名同学。近5年,受益学生近400人,实验人时数达14400。

教学目标概括为三个方面:1)系统地掌握仪器分析方法在物质结构和组成分析中的影响因素,提升知识储备;具备操作现代化分析仪器与谱图解析能力,强化基本理论和基本技能;2)掌握仪器分析技术最新发展,训练通过自主学习、归纳总结、具备探究精神和科研能力,培养创新性、批判性思维和终身学习能力;3)树立化学学科的思维方法,推演化学与化工复杂工程问题,形成对学科知识深度、广度和高度的理解,从多环节和多维度考查学习投入、学习成果和差异化能力,培养实事求是、客观严谨的科学态度,逐步树立科技报国的家国情怀和使命担当。

1 学情分析

为了适应四新建设的需要,化学类专业的人才培养首先需要完成从知识导向型向能力和素质导向型,再向批判和创新导向型的转变。这要求我们以新的人才培养目标为导向,坚持学生中心、产出导向理念,对专业教学的知识体系和教学体系进行战略性重构^[8]。按照四新理念改革课程教学理念和教学模式。通过改革化学基础课教学,强化学生的科学素养、创新思维和科研能力,使化学更好地服务其他学科和专业的四新人才培养是当前化学支持四新建设的基本思路之一^[9]。如何推动课程按照四新育人要求进行理念和方法的革命性转变,是最基础、最难也是最有意义的工作^[10,11]。

传统的实验教学,教师多采用“保姆式”“灌输式”教学方法^[12],整个实验教学中学生主体地位体现不够,没有引导学生进行自主式探究,学生只能在规定的时间内完成规定的教学内容,再按照特定的格式写好实验报告,始终处于被动学习状态,没有很好的交流和反馈。导致学生基本上都将实验程序化,不能有效地锻炼学生自主规范地进行化学实验。对化学实验原理和操作过程未产生深刻的理解和记忆,没有充分调动学生学习的主观能动性和发散思维,导致综合能力和创新能力得不到培养。

仪器分析实验在长期的实践教学中,在拔尖人才体系的构建中,存在以下教学关键问题:

1) 思政元素不足,形式生硬,融入效果不佳。

注重知识传授,兼顾能力与素质提升,但忽略价值塑造、创新实践、理想信念与社会责任的育人功能。

2) 教学内容保守,学生难以把握学术前沿。

知识重复、衔接不到位,未将学科发展、研究成果、学科交叉引入实验教学,难以反映连贯性、前沿性和时代性。

3) 教学手段传统,教学形式简单,数字化资源匮乏。

未立足于学科特点,先进性、探索性和个性化不突出,信息技术融合建设不完备,满足不了学生个性化、自主学习的需求;大型仪器台套数少、运行维护成本高,学生动手机会少,学习效果不佳。

4) 教学评价单一,评价机制的科学性、过程性不足。

实验成绩评价模式忽略了学生创新精神和创新能力的发挥,在一定程度上抑制了拔尖人才的培养,尚未形成客观全面、师生互评共促体系,缺乏成熟的评价机制,导致大多数学生不重视预习报

告、实验报告内容雷同、存在着明显的抄袭和篡改、甚至伪造实验现象和数据，与实事求是的科学态度背道而驰。同时教师缺乏与学生的及时沟通和交流，难以准确评价学生对实验内容的掌握程度。

基于以上学情，坚持以“学生为中心，教师为主导”，秉承“科教融合”，按照“两性一度”实施混合式教改，旨在培养学生的化学情操和学术诚信，实现为学和为人的统一：

1) 深度挖掘生动有效的育人元素，精准滴灌、入耳入脑入心，让课程思政成为有情有义、有温度、有爱的教育过程，与前沿知识有机融合，寓思政教育于无形。

2) 优化重构教学内容，聚焦学术前沿，将最新的科研热点植入实验，拓展教学内容的广度和深度，科教融合具有高阶性和挑战度。

3) 搭建线上虚拟仿真实验平台，构建实施SPOC+虚拟仿真实验+QQ群+微信群+教学六步法，摒弃“照方抓药”教学模式，体现教学手段的先进性和互动性，促进自主学习，提升学习内驱力，展示教学形式的前沿性和时代性。

4) 教学评价多维介入，以竞赛为载体开展创新实验设计，以赛促学、以赛促改、赛教结合，强化科学思维、发挥创新能力，助力拔尖人才培养课程体系的构建和实践。

2 线上线下混合式教学设计

本课程面对国家重大需求，坚持以产出为导向的工程教育理念，从灌输课堂向对话课堂转变、从封闭课堂向开放课堂转变、从知识课堂向能力课堂转变，通过开展创新实验设计，将科研成果融入仪器分析实验教学，以科研带动教学，增强了实验教学的探索性和创新性，培养学生分析、解决复杂问题的综合能力，有效推进研究型课堂教学模式改革。

课堂是教学实施的主要形式，课堂教学是使学生能够达到毕业要求、达成培养目标的基础，基于OBE教学策略和PBL教学法，在教师的引导下，“以学生为中心，以问题式驱动为基础”，紧紧围绕问题发布任务，学生成立小组，独立收集资料调研论证、发现问题并解决问题，实现了从重学轻思向学思结合转变、从重教轻学向教重于学转变，旨在培养学生自主学习能力和创新思维。构建SPOC+虚拟仿真实验+QQ群+微信群+教学六步法的混合式教学设计逻辑路线导图，如图1所示。

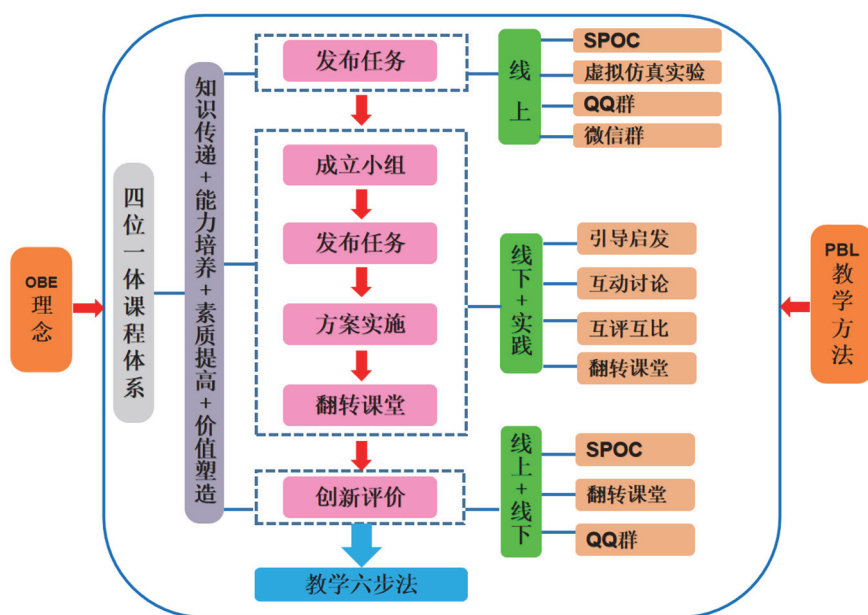


图1 SPOC+虚拟仿真实验+QQ群+微信群+教学六步法的混合式教学设计逻辑路线导图

下面以“分子光谱知识单元”(8学时)为例,将紫外光谱、红外光谱、荧光光谱串联于一个综合创新设计实验中,阐述如何实施混合式教学设计。

金属有机框架(metal-organic frameworks, MOFs)化合物是由有机桥连配体与无机金属中心通过自组装形成的一种周期性网络结构晶态多孔材料^[13],具有大比表面积、高孔隙率和结构可调控等特点,已在能源和环境等领域展示了良好的应用潜力,是当前化学和材料科学的研究热点^[14]。

本单元的实验内容是锌基MOFs材料的制备、结构表征、MOFs荧光探针构建及对水中微量硝基化合物的超灵敏检测,内容综合了有机化学、分析化学、结构化学和仪器分析等多学科知识,机理分析采用量子计算的密度泛函理论(density functional theory, DFT),DFT分子模拟可以帮助学生从分子层次上理解物质的结构与性能关系、动力学性质与反应特性,使实验内容与操作具有先进性和一定的挑战度,突破了学生本身原有的模块化知识结构,对学生进行全方位、系统的科研训练,实现了知识技能传授与综合能力素质培养的相互促进与统一。实验设计流程如图2所示。

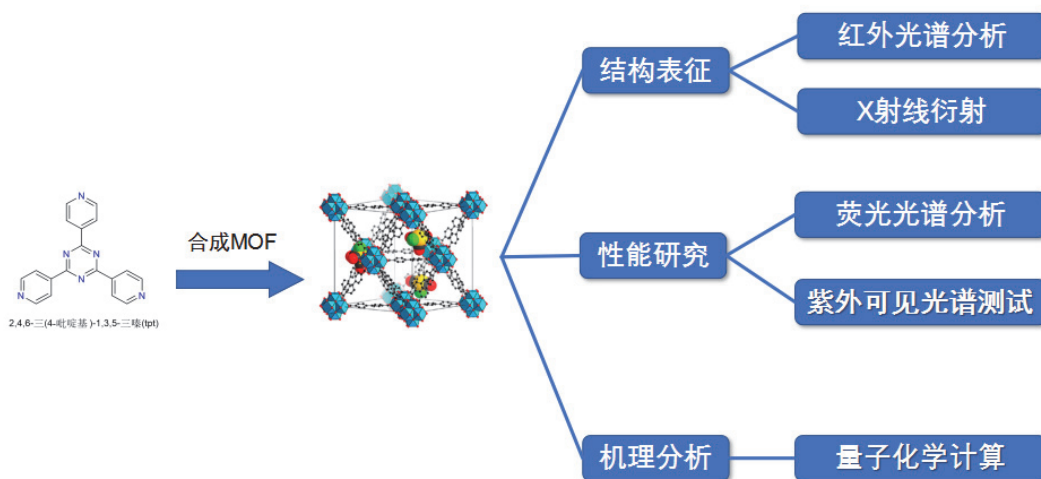


图2 一种锌基MOFs材料的表征及对水中微量硝基化合物的超灵敏检测实验流程

课前自学,教师将设计实验提前布置给学生,学生自行组队,调研查阅文献,学习紫外光谱、红外光谱和荧光光谱以及X射线粉末衍射技术在物质结构组成表征和谱图解析中的应用,构建实验设计流程,优化实验方案。课前还需登录虚拟仿真平台,线上学习紫外光谱、红外光谱、荧光光谱和X射线粉末衍射的讲义和文献资料,了解大型实验仪器的结构及工作原理,熟悉仪器操作步骤,通过建立微信群和QQ群与教师沟通讨论,教师在线解答。通过大型仪器虚拟仿真平台,模拟人机交互使学生产生强烈的代入感,感觉像在真实的环境中完成实验^[15,16],不受时间及空间的限制,在手机和计算机上可以随时随地反复操作仪器;还可以自己动手配置、连接、调节和使用虚拟分析仪器,解决了仪器工作原理难懂、内部结构不直观、高精尖仪器动手机会少而制约学生实践能力培养的瓶颈问题,从而提高了学生自主探究式的学习能力。课前自学,设计为2学时。

课中导学,结合设计方案的重点和难点,采用小组汇报、翻转课堂^[17]、互评互比等方式,组织高质量课堂讨论,使知识在师生、生生之间传递、交流与互动;结合荧光探针测定水体污染物的应用研究,及时向学生传授“金山银山不如绿水青山”的环保观念,寓思政教育于无形;实操过程中,分工协作,组与组之间交流互动,教师对难以解决的问题适当提醒或给予帮助,针对学生在制样及仪器测试过程中的错误及时纠正,保证实验顺利完成;实验结束,每组选出代表针对数据进行谱图解析和结果讨论。课中导学,实验操作设计为3学时;小组汇报、翻转课堂、互评互比设计为3学时。

课后拓学,提交多样化的实验报告,包括基础部分、发散部分和知识拓展部分。

教学实施始终贯彻“以学生为中心”，提出“以目标性学习为导向”“以自主学习策略为依据”“以在线虚拟仿真场景为手段”，实现理论认知、情感态度、人机交互与启发创新四位一体的线上线下混合式教学设计。

在创新实验设计中，除了实验报告、实验数据处理等方面的评定，着重考查学生综合实践能力。例如文献调研与分析、方案设计、仪器操作水平、多元化讨论、团队协作精神以及解决实际问题等过程性评价，融入自我评价及小组互评。自我评价主要考查学生个人在实验中的收获和对自己在团队实验中完成情况的评定。学生制作演示文稿，录制小视频等现代多媒体手段进行汇报展示，加强小组间交流，能够培养学生的语言表达、自我展示、逻辑思维能力及自主探究能力。小组互评主要考查每个成员在小组中的表现及承担的任务，旨在让每位学生都有参与感，在实验中有所收获。

将立德树人思政教育内化为课程内容，例如本知识单元涉及了紫外-可见光谱仪、红外光谱仪、荧光光谱仪的仪器分析方法，向同学们讲述被授予人民科学家的南仁东先生的感人事迹，他负责国家重大科技基础设施建设项目——500米口径球面射电望远镜(FAST)，此项研究与光谱光学有着重要的联系，南仁东先生为此付出了全部心血，最终倒在了其热爱的工作岗位上^[18]；通过在光谱仪器分析中植入科学家的光辉事迹，诠释了伟大的爱国精神和科学情怀，先生淡泊名利、待人诚恳、胸怀全局、鞠躬尽瘁的高尚品德，为学生树立了典范，达到了立德树人的根本目的。在讲授红外光谱时，向同学们展示2015年屠呦呦获得诺贝尔生理学或医学奖中青蒿素的红外光谱，使学生了解前辈在化学史上的重要贡献。通过名人故事、优秀事迹、弘扬社会主义核心价值观。

仪器分析实验开设的实验项目如表1所示。通过细化课程内容对教学目标的支撑作用，满足学生差异化学习需求。

表1 仪器分析实验项目列表

序号	实验项目名称	类型	学时
1	化合物的红外光谱测绘及定性分析	综合	4
2	火焰原子吸收法测定钙时磷酸根的干扰与消除	综合	4
3	有机化合物的吸收光谱及溶剂效应	综合	4
4	高效液相色谱法分离芳烃	综合	4
5	填充色谱柱柱效能的测定	综合	4
6	高效毛细管电泳法测定食品中防腐剂的含量	综合	4
7	离子色谱法分离混合阴离子	综合	4
8	X射线衍射法测定晶胞常数	综合	4
9	热重分析	综合	4
10	GC-MS定性分析有机混合物	综合	4
11	荧光法对药片中维生素B ₂ 含量的测定	综合	4
12	CaCO ₃ 粉体颗粒粒度的测定	综合	8
13	固体比表面积和孔径测定	综合	8
14	拉曼光谱检测超低浓度化学分子	综合	8
15	一种锌基MOFs材料的表征及对水中微量硝基化合物的超灵敏检测	综合	8

在线上线下混合式六步教学法实施中，始终坚持“以学生为中心”，把最新的学术前沿植入实验教学中，学生的信息收集、计划制定、时间管理、数据分析、论文写作、口头表达、团队协作等各项能力均得到大幅提升。促进了学生从“要我做实验”到“我要做实验”的思想转变，真正达到了“乐学、会学和学会”，形成了教学和科研相互支撑、相互依托、相得益彰的态势，凸显了科研

育人、实践育人、科教融合的人才培养优势,促进实验教学的内涵式发展。混合式教学设计,形成知识传递、能力培养、素质提高和价值塑造四位一体的课程体系,拓宽学生学术视野,充分培养学生学术志趣、创新思维和热爱化学学科的情操。

3 线上资源建设与应用情况

课程已经建立如下线上资源:

(1) 哈尔滨工业大学虚拟仿真云平台(电脑端): <http://www.oberyun.com/hebgdxx> (如图3所示)。



图3 导航示意图

平台中包含知识点学习、理论学习和仿真中心。在知识点学习中,列出了本课程的基本信息和章节内容,包含红外光谱、原子吸收光谱、热重分析、气质联用色谱、毛细管电泳、荧光光谱、紫外可见光谱、离子色谱、液相色谱和气相色谱等课程学习课件。在理论学习中,设置题库考试、试题管理和考试管理,试题有填空、选择和判断题,旨在考查学生在预习环节对实验中涉及的知识点的掌握和理解。目前含有4套试卷,每套包含20道测试题。在仿真中心,学生可以进行虚拟仿真实验,内容包括同步热分析仪、液相色谱3D、气相色谱3D、分子荧光光谱、毛细管电泳仪、原子吸收(火焰)、气质联用仪、苯甲酸红外光谱测定、紫外-可见分光光度计3D以及离子色谱仪10个虚拟仿真实验(如图4所示)。

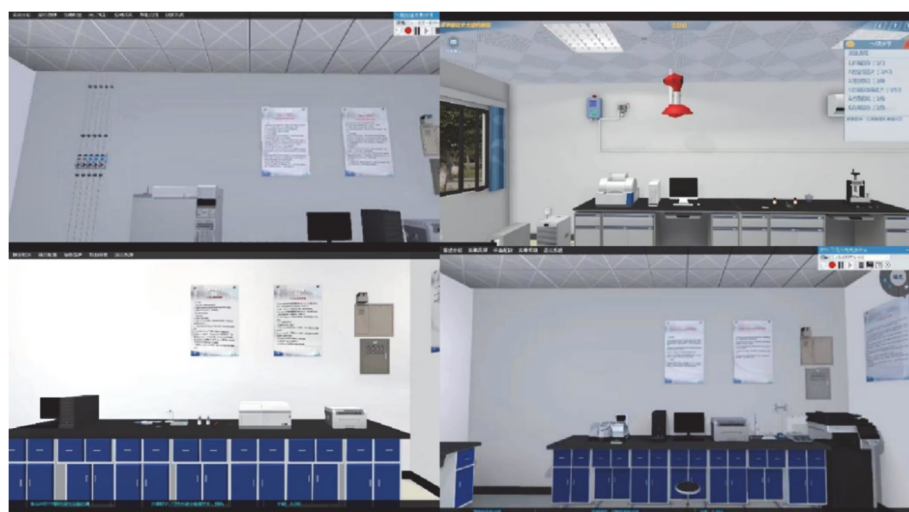


图4 虚拟仿真实验截图

(2) Mlabs移动虚拟实验室(手机端): 手机APP搜索Mlabs下载, 进入学习平台(如图5所示)。

(3) 搜索哈尔滨工业大学化学实验中心微信公众号(如图6所示)。

(4) 微助教<https://www.teachermate.com.cn/classes>, 课程二维码如图7所示。

课程中上传了教师制作的PPT课件、教师的课堂实录音频和实验操作视频以及与实验内容相关的文档(如图8所示)。



图5 Mlabs移动虚拟实验室



图6 哈尔滨工业大学化学实验中心微信公众号

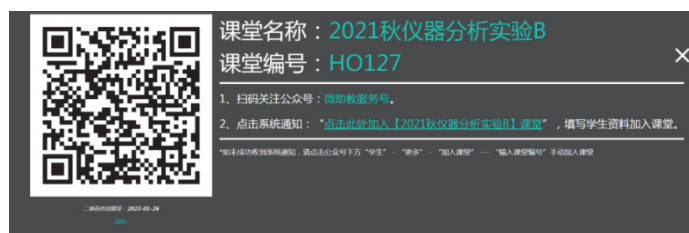


图7 课程微助教二维码



图8 微助教中仪器分析实验视频部分截图

在线推送课件、虚拟仿真实验操作、课前实验预习等资源,学生可以不限时间、地点、随时随地、在手机和电脑上灵活操作虚仿实验,在线阅读文献、完成课前导学、测试题等线上实验预习,促进学生自主学习,提升学习内驱力。

4 成绩评定与量表分析

建立多元化综合评价体系,如图9所示。成绩评定与考核是检验教学质量的重要手段,科学、合理的考核方式对于全面了解学生的学习效果、提高学生的学习主动性具有重要意义^[5],能够更好地促进教学过程的更新完善和迭代发展。

通过混合式教改,2019–2021年连续3年教师评教为A(如图10A),获得校、院两级督导专家一致好评。相比于传统的教学模式,学生平均成绩逐年递增(如图10B和C),学生的各项能力均得到大幅提升(如图10D),超过90%的学生对线上线下混合式教学感到满意(如图10E和F)。

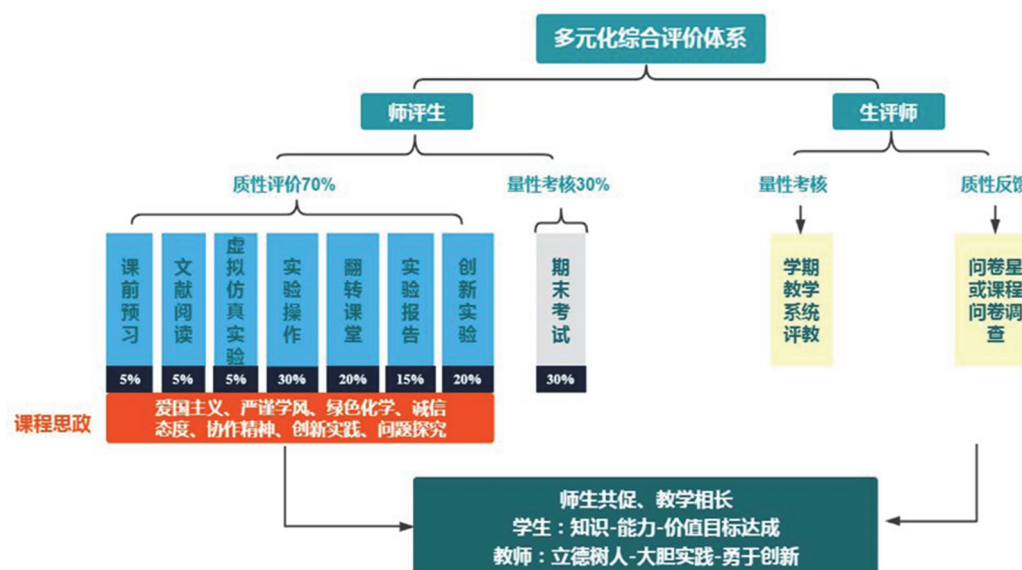


图9 多元化综合评价体系

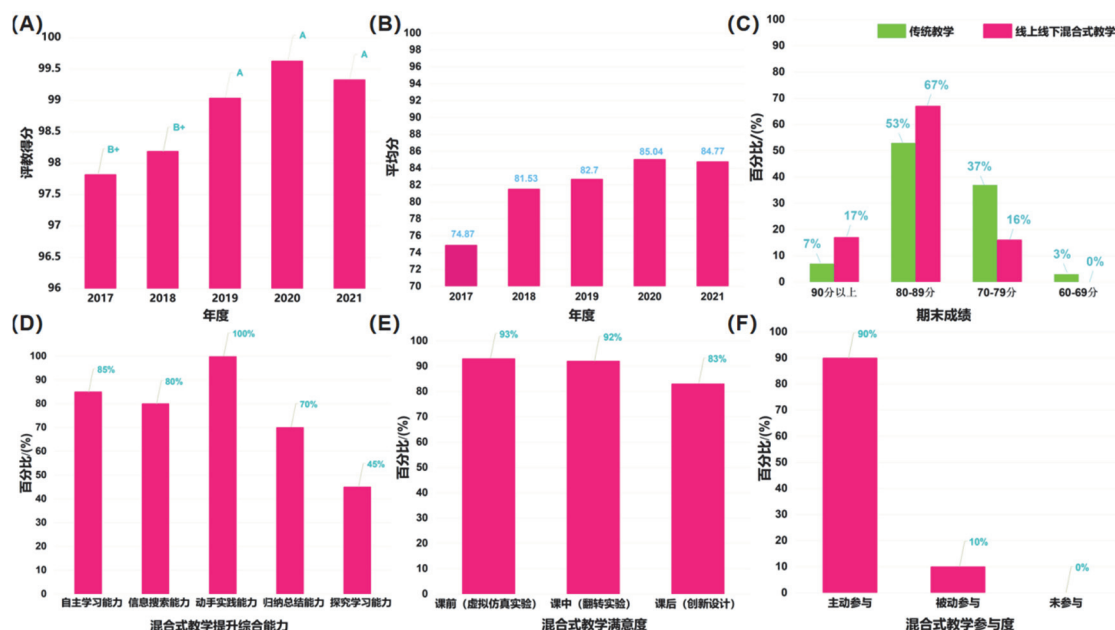


图10 混合式实验教学与传统实验教学对比量表分析

(A) 五年度教师评教结果图; (B) 五年度学生平均成绩数据图; (C) 传统教学与混合式教学模式成绩分布对比图;

(D) 混合式教学对提升综合能力对比图; (E) 混合式教学满意度调查; (F) 混合式教学参与度调查

5 竞赛驱动与教改成效

将竞赛引入本科生化学实验教学体系,以竞赛驱动实验教学改革,将高水平科研团队和教学团队相结合,组建竞赛培训与指导团队,并在实验教学过程中融入竞赛的相关内容。2016–2019年,学生连续5年参加了卓越联盟E9“卓越杯”大学生化学新实验设计和化学实验技能竞赛,获一等奖3项,二等奖3项,三等奖5项;2019年,学生获首届全国大学生化学实验创新设计竞赛二等奖;2021年又获第二届全国大学生化学实验创新设计竞赛一等奖。通过参加化学竞赛完善了研究型实验教学模式,既夯实专业基础、增强专业素质,又激发学生的学习热情、提高创新思维和团队合作精神,充分展示了实验教学的设计性、先进性和梯度性,极大提升了课程的挑战度以及拔尖人才培养质量。

在长期的教学实践中,团队成员始终践行教学相长的理念,积极主动地调整和改进教育教学方式,不断探索形成师生良性互动的人才培养模式,教学团队主持完成省部级以及校级教改项目10余项,获第二届全国高校混合式教学设计创新大赛一等奖,仪器分析实验认定第二批黑龙江省一流本科课程,“思政引领、四轮驱动的混合式化学实验教学体系构建与拔尖创新人才培养实践”获黑龙江省高等教育教学成果二等奖等荣誉。

6 结语

仪器分析实验是一门培养学生动手能力和创新能力的重要课程,注重构建学生从事科研工作的基本思想和方法,启发和培养学生的独立思维和创造能力,塑造和发展学生的科研思想和方法。针对新工科建设中要求引导学生深化学科知识的理解和掌握,更好地把握学科研究进展和学科发展的未来方向,形成创新意识,强化研究能力。将更多具有战略性、前瞻性、挑战度的问题和课题纳入拔尖人才的培养,从而提升学生学习层次,更多地开展研究型学习,是落实教育部推进新工科建设“再深化、再拓展、再突破、再出发”的工作要求^[19]。化学作为基础性和引领性学科,亟待全面推进基础化学实验教学模式创新,推动工程教育深层次变革,使其更好地服务于其他学科和专业,助力拔尖人才培养体系的构建与实践。

参 考 文 献

- [1] 陈宝生. 旗帜, **2020**, No. 2, 19.
- [2] 习近平. 习近平谈治国理政(第二卷). 北京: 外文出版社, 2017: 376.
- [3] 吴岩. 中国高等教育, **2022**, No. 11, 8.
- [4] 吴岩. 重庆高教研究, **2022**, 10 (3), 3.
- [5] 徐华杰, 刘昭第, 盛良全, 宋崇富, 黄德乾. 教学研究, **2012**, 35 (2), 85.
- [6] 潘玉珍, 孟长功, 张文珠, 刘潇戡, 张永策. 实验室科学, **2015**, 18 (2), 101.
- [7] 黄军, 周颖琳, 吕占霞, 高珍, 李美仙. 大学化学, **2022**, 37 (4), 2110023.
- [8] 张树永, 朱亚先. 中国大学教学, **2018**, No. 3, 25.
- [9] 张树永, 丁玉强, 杜凤沛, 苑世领, 郭今心, 朱亚先, 霍冀川, 龚良玉, 陈春霞, 王芬, 等. 大学化学, **2023**, 38 (3), 1.
- [10] 张树永. 中国大学教学, **2015**, No. 3, 55.
- [11] 张树永, 戚明颖, 宋爱新, 李英, 苑世领, 郝京诚. 大学化学, **2021**, 36 (1), 2008024.
- [12] 王存, 邹晓川, 王桃香, 范亮. 化学教育, **2015**, 36 (20), 37.
- [13] Indra, A.; Song, T.; Paik, U. *Adv. Mater.* **2018**, 30 (39), 1705146.
- [14] Diercks, C. S.; Kalmutzki, M. J.; Diercks, N. J.; Yaghi, O. M. *ACS Cent. Sci.* **2018**, 4 (11), 1457.
- [15] 吴鸿伟, 黄薇, 王峰, 王登峰, 张学兰. 山东化工, **2019**, 48 (2), 177.
- [16] 张永策, 姜文凤, 孟长功. 实验室科学, **2019**, 22 (2), 60.
- [17] 陈毅挺, 黄露, 李艳霞, 林棋. 大学化学, **2016**, 31 (12), 26.
- [18] 深切缅怀南仁东先生. [2017-09-19]. <http://www.cas.cn/zt/rwzt/mhnr/>
- [19] 周立亚, 张树永, 杨屹, 王尧宇, 刘春明, 王玉枝, 万坚, 惠新平, 韩喜江, 何熙璞, 等. 大学化学, **2023**, 38 (3), 9.