

## 多元混合式教学在仪器分析实验课程中的实践

王京, 李琰, 南晶, 李一峻, 邱晓航, 丁飞\*

化学国家级实验教学示范中心(南开大学), 天津 300071

**摘要:** 仪器分析实验课程是化学相关专业实践性与应用性极强的核心实验课程之一。在“双一流”建设的大背景下, 针对目前仪器分析实验教学存在的问题, 从教学模式、教学内容和教学方法三方面进行改革, 打造了线上线下相结合, 常规实验、虚拟仿真实验和自主创新设计实验相结合, 翻转课堂和问题导向学习法相结合的多元混合式教学课程体系。教学实践证明, 这种新型的教学课程体系有利于激发学生的学习兴趣与主动性, 引导学生内化知识, 培养分析和解决问题的高阶思维与综合能力, 提高教学效率, 优化教学效果。

**关键词:** 仪器分析实验; 多元混合式教学; 实验教学改革

中图分类号: G64; O6

## Practice of Pluralistic Blended Teaching Model in Instrumental Analysis Experiment

Jing Wang, Yan Li, Jing Nan, Yijun Li, Xiaohang Qiu, Fei Ding\*

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, Nankai University, Tianjin 300071, China.

**Abstract:** Instrumental analysis experiment is one of the core curriculums due to its practicality and applicability. In the context of the construction of “Double First-Class” universities, in response to the existing problems in the teaching of instrumental analysis experiments, reforms have been made in terms of teaching mode, teaching content, and teaching methods. This has resulted in the creation of a multi-modal blended teaching course system that combines online and offline learning, conventional experiments, virtual simulation experiments, and autonomous innovative design experiments, as well as flipped classrooms and problem-based learning. Teaching practice has shown that this new teaching course system is conducive to stimulating students' interest and initiative in learning, guiding students to internalize knowledge, cultivating higher-order thinking and comprehensive problem-solving abilities, improving teaching efficiency, and optimizing teaching effectiveness.

**Key Words:** Instrumental analysis experiment; Pluralistic blended teaching; Experimental teaching reform

现代分析测试是从事化学、化工、生物、医药、食品、环境等领域科学研究和生产实践不可或缺的关键环节, 由于其应用的广泛性和技术的先进性, 仪器分析实验已成为高等院校化学及其相关专业的基础课程之一<sup>[1,2]</sup>。教育部《关于深化本科教育教学改革全面提高人才培养质量的意见》提出, 着力提高教育教学质量, 加强课程体系整体设计, 通过实施国家级和省级一流课程建设“双万计划”, 提高课程建设高阶性、创新性和挑战度。鼓励和引导学生刻苦学习, 提高学生自主支配学习的时间比例, 引导学生多读书、深思考、善提问、勤实践, 激发学生学习潜能和学习兴趣<sup>[3]</sup>。仪器分

收稿: 2023-05-29; 录用: 2023-07-05; 网络发表: 2023-07-13

\*通讯作者, Email: dingfei@nankai.edu.cn

基金资助: 教育部产学合作协同育人项目(202343HJ0064); 南开大学 2022 年实验课程改革项目(22NKSYSX08)

析实验应聚焦学生“学以致用”能力的培养,通过理论知识的学习,掌握仪器操作方法,并能预判和解决实验过程中所遇到的问题<sup>[4]</sup>。但是,受实验课时、仪器种类、仪器数量、实验场地等限制,学生实验参与度不高,学习缺乏积极性,教学效果难以进一步提升<sup>[5-7]</sup>。

化学国家级实验教学示范中心(南开大学)根据仪器分析实验的课程特点,积极探索和改革教学模式,逐渐摸索出一套多元混合式教学课程体系。这种多元混合式教学不仅仅体现在线上线下混合式教学模式,还包含了在教学内容方面,在常规实验的基础上增加了虚拟仿真实验和自主创新设计实验,在教学方法上增加了翻转课堂和问题导向学习法(Problem-Based Learning, PBL)的授课方式。经过4年摸索和实践,该教学模式有效激发了学生学习的兴趣和主动性,得到了广大师生的认可,同时收获了一批优秀的创新实验项目作为实验教学改革的储备,取得了较好的教学效果<sup>[8-13]</sup>。

## 1 传统实验教学中存在的主要问题

### 1.1 学生实际操作不充分

仪器分析实验课时为64学时,单次实验为4学时,传统实验教学中学生课前预习是根据实验讲义撰写预习报告,往往是大篇幅的抄写,预习效果差,导致课上理论讲解占用了大量时长,实验操作时长被迫压缩。此外,实验室空间有限,大型仪器设备价格昂贵、数量少,往往只能多人共用设备轮流进行实验,实验设计不得不压缩操作内容,导致学生等待时间长,实验感受不佳,影响学习热情。

### 1.2 实验项目固定,实验内容陈旧

现代科技进步日新月异,分析测试仪器更新迭代迅速。但是高校往往由于经费、场地等限制,仪器更新缓慢。在实际教学过程中,实验项目只能围绕现有的仪器开设,经常会出现一种设备开设两个实验内容的情况,造成知识内容重复。实验内容多依附于理论教学,内容陈旧,与科研热点和生产生活脱节,难以激发学生学习的兴趣。

### 1.3 教学方法较为单一

仪器分析实验涉及化学、物理学、数学等多学科和仪器操作、分析方法等众多知识内容,教学难度大,通常的授课模式为教师讲授和演示,学生按照规定的操作方法和参数,进行实验操作。“满堂灌”的授课方式忽略了学生的个性化差异和需求,学生在实验过程中依葫芦画瓢,很难形成系统的知识体系,无法对实验过程中可能出现的问题进行预判,出现问题也不懂得怎样解决。这种“教”大于“学”的教学方法,抑制了学生学习的主动性,对于创新能力和综合素质的培养十分不利。

## 2 教学课程体系设计与实践

### 2.1 多平台线上线下混合式教学模式

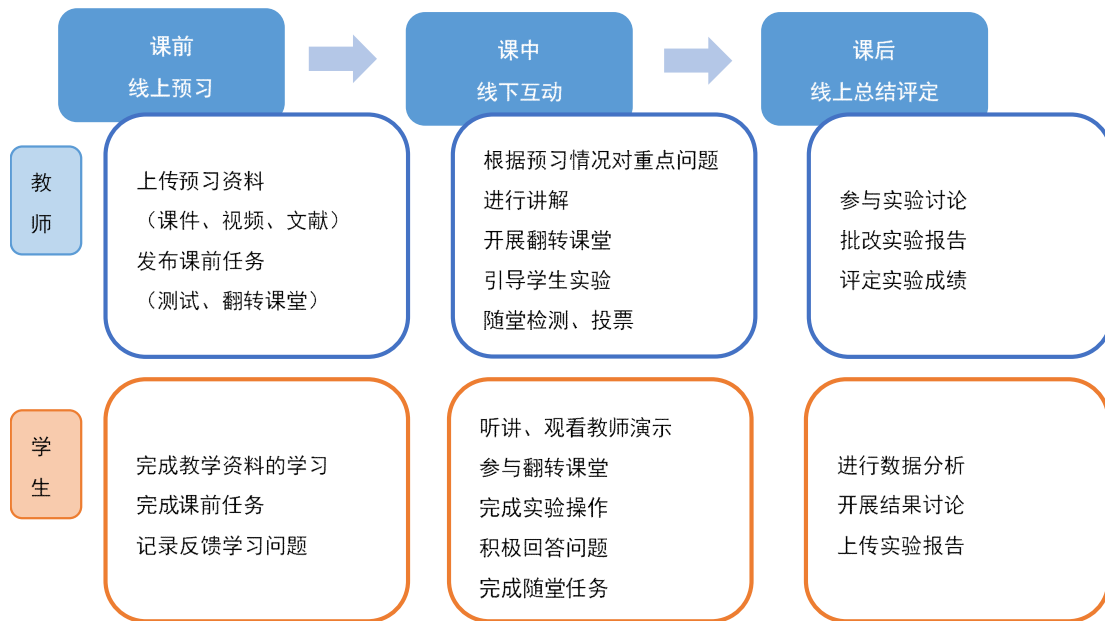
随着新时代新技术的不断发展,线上教学手段不仅在理论课程中得到了广泛应用和认可,在实验教学中也发挥出独特优势。本课程使用的线上平台包括长江雨课堂、虚拟仿真实验室和飞书交流平台。

长江雨课堂是一款线上线下相结合的移动交流教学助手,目前我校已普及长江雨课堂的应用。长江雨课堂可以在课前、课中、课后三个环节完成线上、线下的相互交融,具体实施方案如图1所示。课前,教师将实验相关的课件、视频资料、网络资源、检测习题上传到平台,学生利用空余时间在在线上进行学习和习题检测,完成实验预习的内容。教师通过后台数据掌握学习时长和进度,综合评定预习成绩。学生也可以对上传课件进行标注反馈给教师,在讨论区提出问题并开展讨论。这使得学生和教师在课前就建立了有效沟通渠道,教师可以有针对性地在课堂进行重点讲解。在课堂教学中,利用长江雨课堂平台发布课堂检测习题和投票,使得每个学生都能参与到课堂互动中来。课后作业由学生在线下完成,再拍照上传,教师在线批改返回给学生,学生修改后可以再次补充提交。教师通过后台大数据的反馈能够掌握学生的学习情况,并进行评估和总结,在后续课程中调整课程

设计，优化教学方案。

自2013年教育部大力推行虚拟仿真建设以来，将虚拟仿真实验技术应用于仪器分析实验教学的实例层出不穷<sup>[14-16]</sup>。虚拟仿真实验最大的优势在于突破了时间和空间的限制，极大缩短了建立实物和获取培训环境的时间，而且一套虚拟仿真系统可以多人同时、单人多次使用，实现了在更短的时间内用更低的成本培养更高素质人才的目标。虚拟仿真实验可以高度逼真地模拟实验操作的流程，使学生获得生动直观的感性认识。软件自动对实验操作进行记录，生成实验报告和成绩，方便学生回溯实验过程。虚拟仿真项目的交互性操作还为学生提供了试错的机会，有助于消除学生对仪器的陌生感。相较于传统的教学模式，虚拟仿真实验是更为开放自由的，更容易激发学生学习的积极性，学生的实践动手能力得到提高。

飞书是保障高效协作的办公工具，整合即时沟通、工作日历、视频会议、云文档、工作台等功能于一体。在开展自主创新设计实验时，需要团队分工合作完成实验项目，利用飞书平台可以建立工作群组，创建共享文档，上传参考资料，召开视频会议同时记录会议纪要。其中共享文档用于记录实验操作步骤、现象、数据分析和实验结论，相当于网络电子实验记录本，为高效完成团队工作提供技术支持。



手机端截屏（课件列表+客观题正确率分析+试卷成绩分析+课件页面评论批注）

图1 长江雨课堂混合式教学

## 2.2 三位一体实验教学内容, 适应时代发展

仪器分析实验课程设置了17个实验项目, 其中常规实验14个, 虚拟仿真实验2个, 自主创新设计实验1个, 具体实验项目如表1所示。

表1 仪器分析实验项目列表

序号	实验项目名称	类型
1	火焰原子吸收光谱法测定钙	常规实验
2	电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)检测生物样品	常规实验
3	双波长光度法同时测定硝基酚的邻、对位异构体	常规实验
4	荧光分光光度法测定维生素B2的含量	常规实验
5	苯甲酸等红外光谱的测绘及结构分析	常规实验
6	圆二色光谱研究蛋白质与小分子作用后的构象变化	常规实验
7	拉曼光谱用于氨基酸的结构测定	常规实验
8	核磁共振波谱法测定乙酰乙酸乙酯互变异构体的相对含量	常规实验
9	校正因子的测定	常规实验
10	高效液相色谱法分离和测定邻、间、对硝基苯酚	常规实验
11	离子色谱法测定水样中无机阴离子的含量	常规实验
12	TiO <sub>2</sub> 纳米晶体的X射线衍射物相测定及粒径分析	常规实验
13	循环伏安法研究电极反应过程	常规实验
14	五水硫酸铜失水过程的热重分析	常规实验
15	某化合物的核磁共振全分析实验	虚拟仿真实验
16	ICP-OES的工作原理及生物样品的检测	虚拟仿真实验
17	自主创新设计实验	创新实验

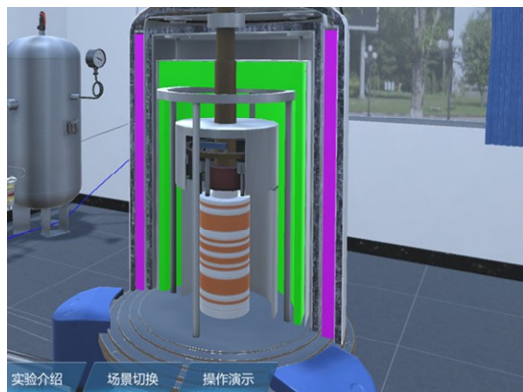
### 2.2.1 持续更新常规实验项目, 拓宽知识领域

现代科技进步日新月异, 分析测试仪器种类不断细化, 功能更加丰富。近年来, 实验室应对实际科研需求购置了圆二色光谱仪、拉曼光谱仪、X射线衍射仪和热分析仪, 并且配套设计了相应实验项目(表1, 序号6、7、12、14)应用于本科实验教学, 除了基本的分析检测技术内容, 还增加了Origin作图、数据拟合、数据库检索等知识点。与此同时, 对原实验项目进行内容改革, 删减重复的知识内容, 将学科发展、科研热点、交叉学科应用引入实验教学。在“火焰原子吸收光谱法测定钙”的定量分析中增加了标准加入法和标准曲线法的比较, 并且增加了化学干扰的相关实验内容。在“ICP-OES全谱直读光谱法检测生物样品”中添加了样品前处理的过程, 并且对比了不同的观测方向对样品信号和背景信号的影响。在“核磁共振波谱法测定乙酰乙酸乙酯互变异构体的相对含量”实验中增加测定某功率下90°脉宽的内容, 并详细介绍定量检测时需要注意的功率、脉宽、采样中心、脉冲间隔等参数的设置。近五年内, 实验项目更新率达到41%, 同步更新了实验教材《仪器分析实验(第二版)》, 在拓宽课程广度的同时适当加深课程深度, 更加贴合科研工作的基础性需求。

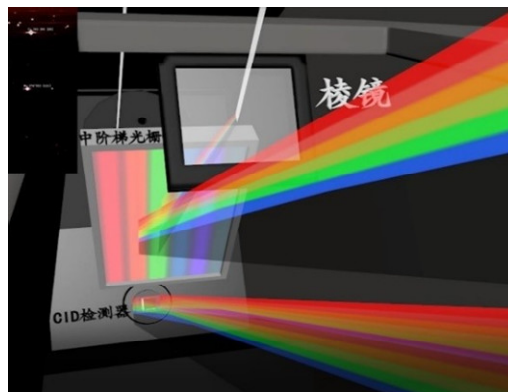
### 2.2.2 引入虚拟仿真实验教学内容, 互补线下教学

仪器分析实验课程设置了两项虚拟仿真实验, 分别为“某化合物的核磁共振全分析实验”和“ICP-OES的工作原理及生物样品的检测”, 见图2。软件建设采用实验室真实仪器建模, 利用透视效果还原仪器内部构造和工作原理, 通过第一视角的3D动画方式模拟了样品在仪器中的演变过程, 帮助学生更加直观地理解仪器构造和工作原理。除了仪器的模拟操作, 软件还建设了仪器维护、仪器部件拆卸、故障排除、多种核磁共振实验、未知化合物图谱解析、微波消解样品前处理等模块, 将在真

实实验室无法开展的实验内容移至虚拟仿真软件，帮助学生扩展知识层面。教师可以通过后台数据观察学生容易出错的操作步骤，在真实实验中加以强调，既提高了教学质量也减少了仪器故障率。



核磁共振内部结构



模拟 ICP-OES 分光系统光路行进过程

过程名称	执行语句	操作描述	得分	区号	备注
样品称量(差量法)	ICAP_KBG_INSIDE=1.000 NONE 0秒	点击空白罐“放入内罐”，将空白消解罐的内罐放入外罐内，盖好空白罐盖子，用工具拧紧	0.000	0	
配置消解液	ICAP_FYG_INSIDE=1.000 NONE 0秒	点击反应罐“放入内罐”，将消解反应罐的内罐放入外罐内，盖好反应罐盖子，用工具拧紧	0.000	0	
安放消解罐	ICAP_WBXKY_SW=1.000 NONE 0秒	点击微波消解仪电源开关“打开”，打开消解仪电源	0.000	0	
主控程序设置及运行	ICAP_WBXKY_DOOR=1.000 NONE 0秒	点击微波消解仪门把手“打开”，打开消解仪的门	0.000	0	
配置样品溶液	ICAP_WBXKY_ZSQ=1.000 NONE 0秒	点击“注水”，将阀转至注水位置，点击注射器“排空气”，排净压力传感器内的空气	0.000	0	
扣项	ICAP_WBXKY_P=1.000 NONE 0秒	点击压力传感器“连接”，将压力传感器连接到消解反应罐上	0.000	0	
	ICAP_WBXKY_T=1.000 NONE 0秒	点击温度探针“连接”，将温度探针连接到消解反应罐上	0.000	0	
	ICAP_WBXKY_FYG=1.000 NONE 0秒	点击反应罐安装位置“放置反应罐”，将消解反应罐放入转盘内	0.000	0	
	ICAP_WBXKY_KBG=1.000 NONE 0秒	点击空白罐安装位置“放置空白罐”，将空白消解罐放入转盘内	0.000	0	
	ICAP_WBXKY_DOOR=0.000 NONE 0秒	点击微波消解仪门把手“关闭”，关闭消解仪的门	0.000	0	
	ICAP_WBXKY_SWZP=1.000 NONE 0秒	点击排风开关“自动”，开启自动排风	0.000	0	

虚拟仿真实验操作后台记录

图2 虚拟仿真软件建设

### 2.2.3 开展自主创新设计实验，提升学生的创新意识和实践精神

自主创新设计实验不同于常规实验和虚拟仿真实验，不属于验证性实验，而是由学生自主选题、设计、完成实验。自主创新设计实验同步于常规实验，在提前自主深入学习的基础上，围绕一、两种仪器开展实验，教学实施方案如图3所示。自主创新设计实验需要8~12人组建团队，通过文献检索、实验设计、实际操作、数据处理，形成实验报告。授课教师的主要任务是指导学生学习仪器相关知识、提出有效建议、规范实验操作和确保实验安全，并不过多干预学生，将主动权交给学生，允许学生试错，促进学生思考解决问题。实验结束后授课教师对工作进行系统梳理，总结工作特色和不足，完成实验成绩评定，将新的知识内容反哺到常规实验教学中。

以自主创新设计实验“ICP-OES检测茶水中的金属含量”为例<sup>[10]</sup>，在课题立项之初学生通过文献调研锁定了3个目标物，分别为茶叶、塑胶跑道和海水。与授课教师讨论后，首先排除了样品前处理难度较大的塑胶跑道，考虑到茶叶种类较多，并且存在泡茶时间、次数等诸多变化因素可以提供丰富的研究方向，最终确定以茶水为检测样品开展研究。随后学生提供“实验设计方案”，授课教师进行审核并提出修改建议，从众多的金属元素中筛选出12个元素进行检测，其中既包含了人体必需的部分元素，又包含了几种常见的有害元素。实验操作期间教师协助学生完成实验内容，从元素特征谱线的选择、仪器检测方法的设定、标准曲线的线性及范围等诸多方面进行把控，确保实验数据的准确性。在学生最终提交实验报告后，授课教师组织讨论完成项目总结，并鼓励学生进一步完善

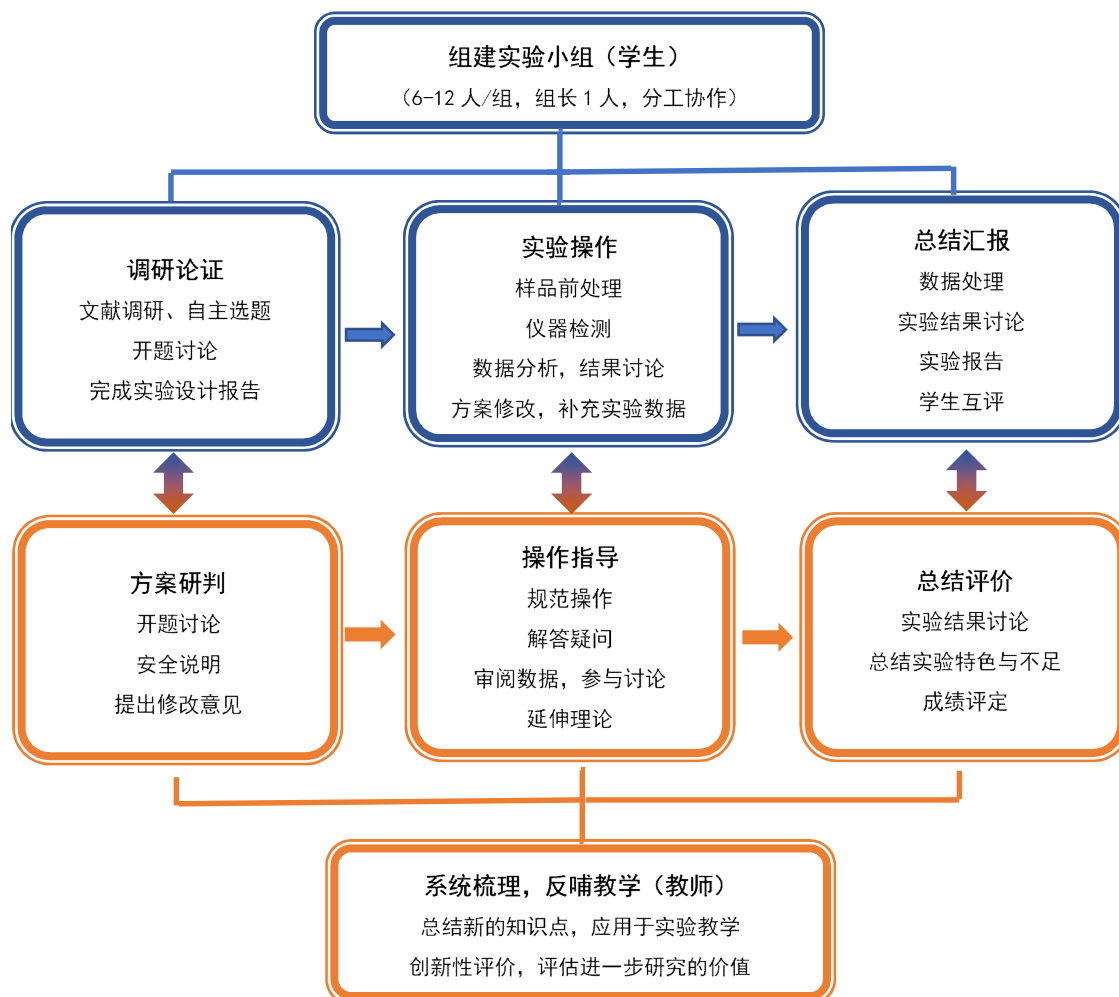


图3 自主创新设计实验教学实施方案

实验数据后撰写实验教学文章。学生表示该实验从设计、实施到撰写虽然投入了大量的课余时间，但是经历了一次完整的实验项目，不断地发现问题、解决问题，很有挑战性，同时也完成了一件和生活紧密联系的研究工作，可以给身边的人提供有效建议，十分有成就感。

经过两个实验教学周期，已经完成28项自主创新设计实验，选题大部分围绕生活中的化学，食用油、茶叶、饮用水、可乐、咖啡、菠菜、青海湖盐等纷纷进入了实验室，充分调动了学生的积极性。自主创新设计实验是将所学到的理论知识不断巩固并灵活运用于复杂问题的处理上，不仅训练了学生的思考能力和实验能力，同时也锻炼了学生对知识的应用能力，提升学生的创新意识和实践精神。

### 2.3 多种教学方法相结合，打造高效课堂

根据实验项目各部分的特点，量身打造不同的教学方法。仪器分析实验中分析原理部分由于理论性比较强，可以在充分预习基础上采用翻转课堂的教学方法，由学生以小组为单位进行讲解，教师引领讨论。对于应用性较强的仪器构造、仪器工作原理和实验操作部分，更多的采用问题导向学习法。问题设计应紧密围绕教学大纲中的教学目标来提炼，把多层面和多学科的知识点串联起来，引导学生思考。多举措并用的教学方法，旨在激发学生主动参与实验教学的热情，变被动接收为积极主动去梳理和构建知识网络体系，提高教学效果。

### 3 实验成绩评价和课程建设成效

仪器分析实验课程中常规实验的成绩由诊断性评价、形成性评价和总结性评价构成。在以往的仪器分析实验中，实验预习效果无从考证，诊断性评价缺失。实验操作循规蹈矩，实验结果趋同，实验报告类似，形成性评价和总结性评价难以发挥作用，最终导致学生实验成绩无法反映学习效果。在采用线上线下混合式教学模式后，教师通过线上平台可将教学过程数据化，完成诊断性评价。教师在线下课程中通过更多的师生交流观察了解学生的特质、实验技能、创新能力和科研素养，使得形成性评价更加真实可靠。总结性评价主要依据实验报告，通过统一实验报告批改细则和标准，提高评价的准确性。虚拟仿真实验成绩为诊断性评价，源于线上平台数据记录。自主创新设计实验则侧重于形成性评价和总结性评价，如表2所示。对2019–2022年的学生实验成绩进行统计，实施教学改革之后的实验成绩梯度得到明显优化，更加符合正态分布，如图4所示。

表2 实验成绩评价体系

实验项目	诊断性评价	形成性评价	总结性评价
常规实验	预习时长、测试成绩(20%)	翻转课堂、互动交流、实验操作(60%)	实验结果、实验报告(20%)
虚拟仿真实验	模拟操作成绩、培训时长(100%)		
自主创新设计实验	参与度、互动交流、实验操作(70%)		实验报告、创新性(30%)

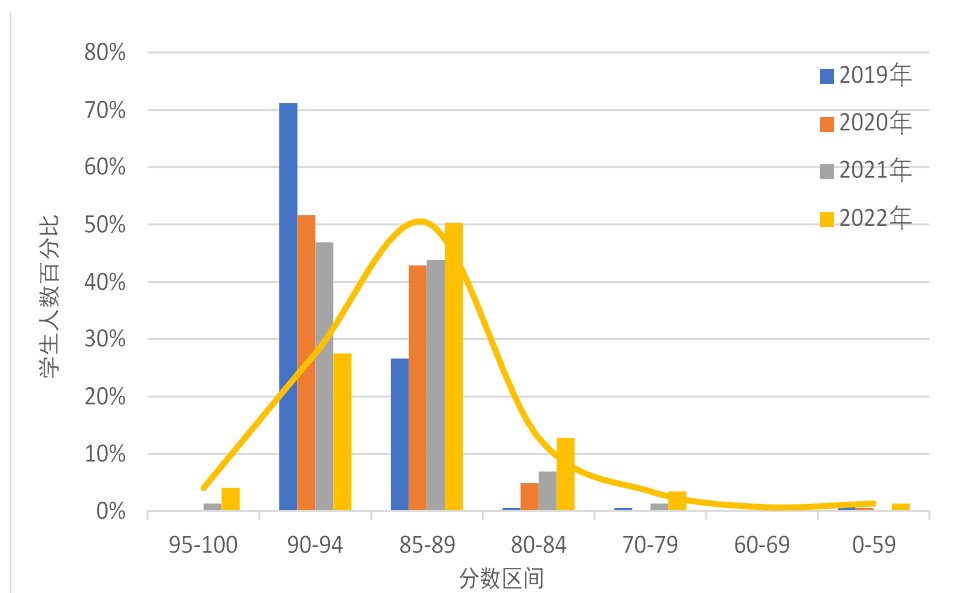


图4 2019–2022年度学生实验成绩统计

经过数个教学周期近千人次的教学实践，这种多元混合式教学模式取得了教师和学生们的普遍好评，在2021年9月被认定为天津市一流本科建设课程。并且通过自主创新设计实验涌现出一批优秀的实验项目可以作为“全国大学生化学实验创新设计大赛”和实验教学改革项目的储备，同时部分优秀工作成果转化为实验教学论文<sup>[8-13]</sup>。

### 4 结语

在“四新”教育教学改革大背景下，仪器分析实验立足于学生“学以致用”能力的培养，引导学生内化知识，培养分析和解决问题的高阶思维与综合能力。在仪器分析实验课程中引入长江雨课堂、虚拟仿真实验和飞书协作平台，优化传统实验项目的同时增加了虚拟仿真实验和自主创新设计

实验, 授课过程中采用翻转课堂和以问题为导向的授课方式, 将多元化教学有机融合, 充分调动学生学习的主动性, 提升教师教学效果, 提高学生学习效率。注重新时期学生的学习特点和学习兴趣, 真正做到与时俱进、因材施教是今后实验教学中还需要继续探索的方向。

### 参 考 文 献

- [1] 黄军, 周颖琳, 吕占霞, 高珍, 李美仙. 大学化学, **2022**, *37* (4), 2110023.
- [2] 楚清脆, 田阳, 鲜跃仲, 王媛媛, 张帆, 朱安伟, 张翠玲, 徐志爱, 郑婷婷, 张中海, 等. 大学化学, **2021**, *36* (7), 2009071.
- [3] 教育部关于深化本科教育教学改革全面提高人才培养质量的意见. [2019-10-08].  
[http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191011\\_402759.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191011_402759.html)
- [4] 种瑞峰, 常志显, 冯彩霞, 张凌, 李德亮. 实验科学与技术, **2021**, *19* (4), 51.
- [5] 邹桂征, 孙树喆, 徐晓文, 黄锡荣, 杨国生, 吴波, 张斌. 大学化学, **2022**, *37* (4), 2108084.
- [6] 葛媛, 王登武, 张翠红, 霍小平. 教育教学论坛, **2020**, No. 43, 173.
- [7] 李宣东, 张红霞, 李欣, 张潇, 周丽, 王进福. 大学化学, **2023**, *38* (5), 2210065.
- [8] 王京, 张翠, 郭东升, 丁飞. 化学教育(中英文), **2021**, *42* (18), 121.
- [9] 丁飞, 张翠, 邱晓航. 大学化学, **2021**, *36* (7), 2012050.
- [10] 高敏莉, 何博锐, 董佳欣, 费澄莹, 傅舒帆, 丁佳欣, 顾思奕, 李瀚洋, 李嘉媛, 丁祖旺, 等. 大学化学, **2023**, *38* (10), 235.
- [11] 周瑶瑶, 龙江爱, 王颖, 王茜, 王瑞, 王豪婧, 马睿彤, 檀林玉, 马思齐, 李琰, 等. 大学化学, **2022**, *38* (2), 2203065.
- [12] 黄洋祺, 李誉, 李常耕, 朱颜, 孙维嘉, 范春涵, 李琰, 丁飞, 张晓光, 孔德明. 大学化学, **2023**, *38* (10), 274.
- [13] 王京, 丁飞, 邱晓航. 实验技术与管理, **2021**, *38* (5), 145.
- [14] 柴占丽, 白风华, 张兵兵. 大学化学, **2021**, *36* (9), 2104005.
- [15] 陈岩, 郭贵荣. 实验室科学, **2022**, *23* (6), 105.
- [16] 邵俊, 孟君, 杨习居. 化学教育, **2016**, *37* (10), 75.