

## 课程思政深度融合的仪器分析实验教学模式构建与实践

肖自胜<sup>1</sup>, 刘思怡<sup>1</sup>, 何斌鸿<sup>2</sup>, 肖毅<sup>1</sup>, 徐琼<sup>1</sup>, 兰支利<sup>1</sup>, 谭蓉<sup>1,\*</sup>, 谭亮<sup>1,\*</sup>, 尹笃林<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 湖南师范大学化学化工学院, 长沙 410081

<sup>2</sup> 湖南理工学院化学化工学院, 湖南 岳阳 414006

**摘要:** 从仪器分析实验“课程思政”建设背景出发, 挖掘实验教学中所蕴含的社会责任感等思政元素, 探讨学科知识与思政元素深度融合的策略与方法; 采用“自主设计”与“虚实结合”实验教学方法, 构建了“电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)法测定家乡饮用水源金属元素含量”综合实验教学模式, 在“自主设计”环节显性地融入了“社会责任感提升”等思政主题, 在“虚实结合”环节则隐性地引入了“朋辈榜样”等思政元素, 实现了思政元素在实验过程中的多方位深度融合。实践表明, “自主设计+虚实结合”的综合实验教学模式可以较好地将实验教学内容、教学方法与思政元素多维度深度融合, 实现学生自主学习积极性的提升, 有利于学生综合实验技能和科学素养的协同并进。

**关键词:** 自主设计; 虚实结合; 仪器分析实验; 课程思政; 电感耦合等离子体发射光谱

**中图分类号:** G64; O6

## Construction and Practice of Instrumental Analysis Experimental Teaching Mode with Deep Integration of Ideological and Political Education

Zisheng Xiao<sup>1</sup>, Siyi Liu<sup>1</sup>, Binhong He<sup>2</sup>, Yi Xiao<sup>1</sup>, Qiong Xu<sup>1</sup>, Zhili Lan<sup>1</sup>, Rong Tan<sup>1,\*</sup>, Liang Tan<sup>1,\*</sup>, Dulin Yin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China.

<sup>2</sup> College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Institute of Science and Technology, Yueyang 414006, Hunan Province, China.

**Abstract:** This study explores the integration of ideological and political education within instrumental analysis laboratory courses, focusing on the cultivation of social responsibility and other ideological elements embedded in experimental teaching. Strategies and methods for the deep integration of disciplinary knowledge with ideological education are systematically examined. The research introduces an innovative experimental teaching model that combines “independent design” with “virtual-reality integration”, specifically applied in the comprehensive experiment of “determining metal element content in hometown drinking water sources using inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES)”. In the “independent design” phase, ideological themes such as “enhancing social responsibility” are explicitly incorporated, while the “virtual-reality integration” phase implicitly introduces elements like “peer role models”. This approach achieves multi-dimensional integration of ideological education throughout the experimental process. Practical implementation demonstrates that the “independent design + virtual-reality integration” teaching model effectively combines experimental content, teaching methods, and ideological education elements

收稿: 2024-12-24; 录用: 2025-03-10; 网络发表: 2025-08-08

\*通讯作者, Emails: yiyangtanrong@126.com (谭蓉); liangtan@hunnu.edu.cn (谭亮)

基金资助: 湖南省普通本科高校教学改革研究项目(202401000479, HNJG-20231644); 湖南省学位与研究生教学改革研究项目(2023JGSZ055); 2024年湖南省大学生创新创业训练计划项目基金资助项目(2024223)

across multiple dimensions. This integration not only enhances students' enthusiasm for self-directed learning but also promotes the coordinated development of their comprehensive experimental skills and scientific literacy.

**Key Words:** Independent design; Virtual-reality integration; Instrumental analysis experiment; Ideological and political education; Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy

在“新工科”建设的背景下，教育部颁布的《化学类教学质量国家标准》明确指出，应提升本科综合化学实验课程的比重，以强化对学生实践能力和创新精神的培育<sup>[1,2]</sup>。依托学校大型仪器平台，开展综合化学实验设计，在仪器分析实验环节中实现课程思政元素的多点定位深度融合，是仪器分析实验课程中实现上述教育教学目标的关键策略之一<sup>[3]</sup>。

## 1 仪器分析实验课程思政研究现状

仪器分析实验作为一门基于精密分析仪器的实践课程，是高等学校培养化学类专业人才的关键基础课程之一<sup>[4]</sup>，同时也是化学类专业“课程思政”的重要载体和媒介。在传统的仪器分析实验课程思政元素挖掘方面，多聚焦于科学家事迹<sup>[5]</sup>、仪器发展历程及应用案例<sup>[6]</sup>等，课程思政的融合相对较为“浅显”，思政元素的落实难以脱离“教师讲思政、学生听故事”的传统模式，因而无法全面、系统地落实《高等学校课程思政建设指导纲要》对理工科实验课程思政建设的内涵要求<sup>[7,8]</sup>。

此外，传统的仪器分析实验教学主要侧重于验证性实验，学生在实验过程中往往采取“照单抓药”式操作，导致实验结果“千篇一律”，这种模式不能体现学生实验报告的原创性，也未能有效促进学生实验兴趣的激发和创新思维能力的培养，进而影响学生课程思政的落实和社会责任感的提升<sup>[9,10]</sup>。因此，针对仪器分析实验课程的特点和实验教学过程中存在的问题，有必要对现有实验教学内容和方法进行改革和创新，做到以学生为本，实现对学生知识、能力、素养和价值等目标的全面落实(图1)<sup>[11,12]</sup>。

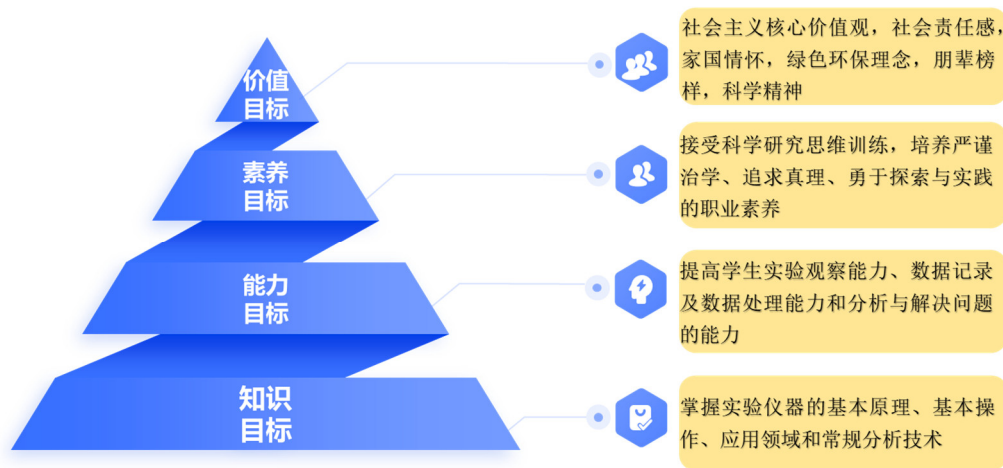


图1 仪器分析实验的课程目标解析图

## 2 仪器分析实验课程思政设计

针对仪器分析实验课程的特性，依据相关仪器分析方法、原理及其在应用领域的最新研究进展，深度整合实验教学内容与教学方法中蕴含的思政元素<sup>[13]</sup>，通过“二式二化”设计，构建仪器分析实验中课程思政深度融合的综合实验教学模式(图2)。即通过实验内容的开放式构建、分析样品的现实化与多样化构建、实验项目自主式构建以及实验评价机制的多维化构建等策略，建立具有开放性和自主式特征的仪器分析综合实验教学模式。该模式集学生理论知识、调研能力、自主学习、动手能

力、科学素养培养和课程思政元素于一体，在实验各环节中实现课程思政元素多点定位的深度融合与强化。

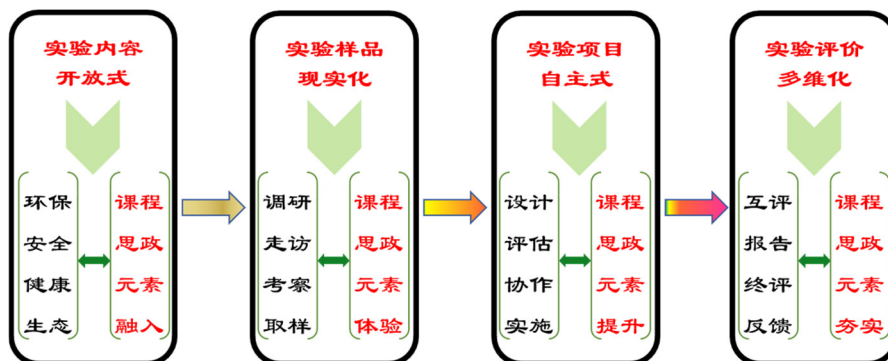


图2 “自主设计”仪器分析实验课程思政融合的基本构想与实施路径

### 2.1 实验内容开放式

实验内容的开放式构建不再局限于传统的实验项目<sup>[14]</sup>，更多地关注环保、安全、健康、生态等社会责任担当相关的课题，例如污染物排放监测、废物资源化利用、安全生产与事故分析等。在这些知识点中恰当地融入思政元素，以获得更多的专业教育与思政教育的契合点。

### 2.2 实验样品现实化

实验样品的现实化构建突破传统“演示法”验证性实验的局限<sup>[15]</sup>，采用实际样本替代模拟样本，学生采用走访、调研、考察等沟通方式为实验提供更丰富和贴近生活的实际检测样品，这既可以丰富学生实验素材，又可以引导学生通过走访、调研、考察等沟通方式引入关爱家乡等课程思政要素，激发学生的家国情怀，使学生能够感同身受地体验与强化课程思政教育。

### 2.3 实验项目自主式

实验项目采取自主式设计，鼓励学生自主设计实验方案，依托学校大型仪器管理平台，利用仪器分析实验室门类齐全的检测设备，满足不同程度学生的个性化实验定制需求。学生可根据现实化样品的分析条件要求选择和配置各类分析仪器资源，优化检测条件，采用差异化教学模式满足学生的研究性实验需求。让学生在教学活动中充分体会成就感，提高学生的自主学习积极性，激发其内在学习动力，培养学生创新能力和适应社会发展的分析检测职业能力。从而实现社会责任感等课程思政元素在学生心中的内化与提升。

### 2.4 实验评价多维化

实验考核的具体内容及评价主体均实现多维化<sup>[16]</sup>，过程性考核包括主题讨论、方案设计、操作能力、协作精神、社会责任感表现等。实验评价可以采用师生互评、学生自评、企业或社区反馈、社会认可度等方式进行，确保评价的公正性和客观性，从而有利于课程思政元素的夯实和强化。

此外，通过有步骤地组织学生开展“虚拟仿真设计”竞赛，形成具有自主知识产权的仪器分析虚拟仿真作品，以此作为学生实验的“虚实结合”载体，挖掘“朋辈榜样”等课程思政元素。采用隐性教育为主、显性教育配合的方式，潜移默化地实现思政元素的自然落地。将课程的价值目标和素养目标渗透于知识传授目标和能力培养目标之间，贯穿于虚拟空间与实际操作中，深化立德树人教育理念。

## 3 “ICP-OES测定家乡饮用水源金属元素含量”实验教学设计

针对仪器分析实验课程的特性，本研究深入探讨了ICP-OES实验在分析方法、原理及其应用领

域中思政元素深度融合的策略与方法<sup>[17]</sup>, 将“自主设计+虚实结合”的教学方法引入ICP-OES实验项目<sup>[18]</sup>, 构建了“ICP-OES测定家乡饮用水源金属元素含量”本科综合实验教学模式<sup>[19,20]</sup>。该实验以“水质安全工作室”为项目化运作模式, 充分利用学生家乡分布广泛的地理优势, 选取全国范围内学生家乡的饮用水源作为水样采集点, 开展金属元素含量分析及相关社会调研活动, 并实施三年连续跟踪检测。此外, 仪器分析检测实验训练则采用“虚实结合”的方法, 配套使用具有自主知识产权的虚拟仿真作品训练与学生自主采集的实际水样检测相结合的实验教学模式, 全方位地对学生进行实验培训、指导和评价。学科知识与思政元素深度融合的“自主设计+虚实结合”模式下的“ICP-OES测定家乡饮用水源金属元素含量”综合实验教学流程如图3所示。

该实验通过开放式的实验设计, 将学生实验兴趣点与实验的开放式特色高度契合。在“自主设计”环节中融入“社会责任感提升”等思政核心要素; 在“虚实结合”环节中切入“朋辈榜样”等思政元素, 有效促进了“榜样力量”思政要素在实验过程中的定位融合; 在“实际操作实验”环节中强化“严谨诚信”等科学精神的体验与提升; 在“实验教学评价”环节中夯实了学生发现问题、解决问题的辩证思维方法和社会责任担当。从而多位点地实现了课程思政元素在实验各环节深度融合, 增强了潜移默化的思政教育长效机制, 确定了专业知识教育和课程思政教育切实可行的深度契合方法, 明确了课程思政元素的承载媒介及具体交互载体<sup>[21,22]</sup>。因而, 有利于促进学生的知识掌握、能力提升、素质培养等多维度课程目标的达成。



图3 “自主设计+虚实结合”模式下“ICP-OES测定家乡饮用水源金属元素含量”实验课程思政融合教学流程图

### 3.1 教学实施

#### 3.1.1 采样与调研

依托仪器分析教学团队建立的湖南师范大学化工学院“水质安全工作室”, 构建了“共建水域信息平台, 监测公共水质安全”系统。该系统利用化工学院学生地域分布的优势, 规划全国公共水域地表水水样采集网点, 执行水样监测及社会调研任务。以化工专业各年级学生为活动主体, 从大一学生中选拔3-5名学生, 成立年级水质检测管理小组, 以充实水质安全工作室的核心团队。同时, 对新生进行水样采集的安全与规范操作培训, 并提供社会调研方法的指导。指导调研人员对水源周边乡村进行实地考察、摄影记录和文献检索, 深入调研当地农产品种类、经济状况、污染源情况、生活垃圾处理方式、教育水平、流行性疾病状况等, 并撰写初步的调研报告。

#### 3.1.2 虚拟仿真训练

为使学生熟练掌握ICP-OES的基本构造、工作原理及技术操作, 采用一款具有自主知识产权的

虚拟仿真作品“电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定水样中金属含量3D仿真实验”进行虚拟仿真教学。该虚拟仿真作品由本课题组指导下的2020级五名本科生自主完成,并荣获2022年第一届全国仿真创新应用大赛化学化工仿真创新赛道本科组全国二等奖,同时完成了软件著作权的申报与登记(图4)。学生首先在虚拟仿真实验平台上进行学习,深入理解ICP-OES的各个组成部分及其功能,学习与训练内容包括样品的准备、仪器的设置、操作流程及数据处理等多方面。通过这种人机交互式的训练方式,学生能够更加直观而深刻地掌握ICP-OES的工作流程和技术要点。



图4 ICP-OES实验3D虚拟仿真场景图

(a) 虚拟仿真全景图; (b) 仿真电脑界面操作图; (c) 仿真标准曲线绘制图;  
(d) 仿真实验考核界面图; (e) 虚拟仿真项目获奖证书

### 3.1.3 分析与检测

对各年级集中采集的样本进行分析与检测,该项工作主要由大学三年级学生在“水质安全工作室”的统筹安排下,通过综合实验的模式完成(图5)。每位学生负责至少三个水样的分析、检测、整理及归档工作,依据《国家生活饮用水卫生标准(GB5749-2022)》,对水样中可能含有的28种元素进行ICP-OES检测(见表1)。ICP-OES作为一种智能化程度较高的精密分析仪器,学生虽然仅需进行简单操作即可完成数据采集。但是从样品的处理、标准浓度溶液的配制到标准曲线的绘制等实验环节,均要求学生具有认真严谨的工作态度,并对仪器分析的原理方法和基本流程有更深刻的掌握,以保证实验流程的连贯性和实验结果的精确性。

### 3.1.4 数据整理与反馈

每年8月下旬,利用学生暑期返校的时机,集中进行水样采集,并及时将样本带(寄)回学校,交由该年级水质检测管理小组进行预处理。同时,水质安全工作室将对提交的水样点调研报告进行评审,并进行成果展示。评审结果将作为学生实验课程平时成绩的评价依据之一。

对采集的水样检测数据进行系统的整理与分析,将检测结果与《国家生活饮用水卫生标准(GB5749-

2022)》进行对比,以评估饮用水中金属元素含量是否超出安全范围,并据此完成实验报告,研究结果将为家乡相关部门提供科学决策依据,及时发现并解决潜在的水质问题,共同维护公共水域安全。



图5 ICP-OES实验室实景图(左)和实验室牌匾图(右)

表1 利用ICP-OES检测水样中的元素种类汇总表

元素名称	国标饮用水标准/(mg·L <sup>-1</sup> )	元素名称	国标饮用水标准/(mg·L <sup>-1</sup> )	元素名称	国标饮用水标准/(mg·L <sup>-1</sup> )	元素名称	国标饮用水标准/(mg·L <sup>-1</sup> )
铝	0.2	磷	非指标	铈	0.005	硼	1.0
钴	非指标	钙	非指标	铉	1.0	铊	0.0001
铜	1.0	镉	0.005	铊	0.01	铋	0.01
铁	0.3	铬	0.01	汞	0.001	钠	200
锂	非指标	镁	非指标	钡	0.7	钋	0.01
锰	0.1	钼	0.07	铍	0.002	铀	0.03
镍	0.02	铅	0.01	银	0.05	镭-226	1.0

## 3.2 教学成效

### 3.2.1 水源取样及社会调查

到目前为止,水质安全研究团队在全国近30个省份建立了约220个水样采集点,局限于学生生源地的随机分布特点,约60%的水样采集点位于湖南省。目前,采样网络的最北端延伸至黑龙江省牡丹江市长汀镇,最南端则位于广东省深圳市宝安区观澜湖,最东端覆盖至吉林省珲春市珲春河,最西端则位于云南省大理白族自治州大理古城区洱海流域。采集来自于学生家乡饮用水源地的水样不仅为化工学院实验中心提供了更为丰富且贴近实际生活的水质检测样本,充实了ICP-OES学生实验教学的素材库,而且巧妙地将家国情怀等思政元素融入学生对家乡的关注和热爱之中,激发了学生的爱国主义情感。此外,以开放式的水源采样活动为契机,激发了学生积极参与社会调研的热忱。近年来,多支以“水质安全”为主题的学生“三下乡”团队荣获各类表彰,其中2021级和2022级化工班部分学生以“水质检测与安全调研”为主题的社会调研报告亦分别荣获学校“杨树达奖”。

### 3.2.2 虚拟仿真训练成效

“电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定水样中金属含量3D仿真实验”软件提供了考核环节,学生在模拟场景下完成系列虚拟实验任务后,通过测验以考核其对ICP-OES技术的掌握程度。近两年来ICP-OES实验教学过程中的使用效果表明,这种教学方式不仅提高了学生的学习兴趣,还显著提升了他们的实验技能和操作水平。该作品的运用真实地展现了学生身边人物的朋辈榜样,有效促进了“榜样力量”思政要素在实验过程中的定位融合,用“朋辈榜样”的力量鼓舞了学生在见贤思齐中学会自我激励,强化了创新创优的社会主义核心价值观。此外,以学生自主设计的虚拟仿

真作品应用于相应的学生实验这一施教策略还大大激发了学生自主开发虚拟仿真项目的学习热情，强化了学生在学习过程中以“以赛促学”的竞赛意识和拼搏精神，引领了我院学生在全国仿真创新应用大赛和全国大学生化学实验创新设计竞赛中屡创佳绩，在2024年的两项赛事中我院学子分别荣获全国一等奖和二等奖。

### 3.2.3 数据收集与整理

对ICP-OES检测数据进行整理，指导学生对各水样采集点信息及金属元素含量检测结果进行分类统计和样品档案建设，一方面，按表2所示统计样表要求完善数据并提交至“水质安全工作室”的样品数据库；另一方面，按照统一的模板制作带有二维码的样品标签并归档陈列(图6a,b)，以便于相关人员扫描各样品瓶上的二维码即可登录“水质安全工作室”公众号，查看各水样点的信息、水样检测报告和调研报告。

表2 各水样点采集信息及金属元素平均含量<sup>a</sup>及检测标准偏差<sup>b</sup>情况表(部分元素样表)

编号	水样点	采集人	钙(Ca)	标准偏差	镁(Mg)	标准偏差	锰(Mn)	标准偏差	铁(Fe)	标准偏差	锌(Zn)	标准偏差
1	常德市石门县河曲峪村***	龚*斌	189.90	1.1920	24.920	0.2775	0.0047	0.0016	0.0997	0.0182	未检出	/
2	常德市安乡县***	刘*妮	31.95	0.0943	4.243	0.0315	0.0016	0.0034	0.0427	0.0108	0.0666	0.0080
3	常德市桃源县漳江街道***	夏*晴	24.93	0.1392	5.837	0.0305	0.0012	0.0012	0.0299	0.0143	0.0018	0.0001
4	常德市石门县三江口***	张*革	34.32	0.3899	7.779	0.0526	0.0041	0.0030	0.0487	0.0086	0.0024	0.0003
5	常德鼎城区中河口镇***	余*	23.24	0.3758	7.045	0.0416	0.0005	0.0007	0.0326	0.0041	0.0027	0.0007
6	常德市石门县楚江镇***	伍*阳	42.46	0.2814	8.333	0.0478	0.0035	0.0013	0.0534	0.0139	0.0029	0.0005
7	常德市桃源县青林乡**河	姚*	43.76	0.3358	8.311	0.0579	0.0059	0.0009	0.0568	0.0021	0.0007	0.0002
8	长沙市浏阳市金刚镇***	陈*明	5.604	0.0446	3.283	0.0284	0.0011	0.0020	0.0077	0.0051	0.0013	0.0002
9	浏阳市镇头镇甘棠村镇**河	陈*茗	16.10	0.0774	3.901	0.0344	0.0001	0.0020	0.0161	0.0107	0.0002	0.0001
10	长沙市望城区白箬铺镇***河	周*怡	29.73	0.4408	4.388	0.0323	0.0006	0.0013	0.0231	0.0119	0.0702	0.0089
11	浏阳市永安镇督正村**河	伍*迪	12.70	0.0839	2.508	0.0017	0.0008	0.0015	0.0160	0.0099	0.0001	0.0000
12	长沙市开福区**水库上游小溪	杨*川	4.981	0.0620	0.918	0.0137	未检出	/	未检出	/	0.0044	0.0002
13	长沙高新区**湖	张*全	31.84	0.1133	6.319	0.0261	0.0037	0.0006	0.0434	0.0064	0.0076	0.0001
14	长沙市长沙县榔梨镇**河	唐*宇	31.40	0.3305	5.959	0.0226	0.0008	0.0016	0.0483	0.0079	0.0029	0.0004

<sup>a</sup>元素含量数据单位均为 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；<sup>b</sup>“/”表示无数值



Service Solutions)对ICP-OES检测数据进行深入研究与分析<sup>[23-25]</sup>,结合金属元素含量的Pearson相关性系数表(图7样表c),结合水源地实际情况,探讨金属元素的来源、迁移转化及其对水质的影响规律,为后续分析提供基础数据与信息支持。最后,将水样检测及分析结论与社会调研报告(图7样表b)相结合,进行总体评估,形成当地水文环境分析报告,并及时将分析调研结果反馈给村委部门或上级政府部门,为政府决策和公众健康提供参考依据。同时,开展的“点对点”的安全用水、科学净水知识指导,消除了广大农民群众的用水安全忧虑,提高了人民安全用水、科学净水的健康意识。实验报告反馈机制进一步夯实了课程思政元素与综合实验过程的深度融入效果,助力学生社会责任感和家国情怀的提升,强化了学生的实践能力和社会责任担当,促进了乡村振兴发展。

## 4 结语

在仪器分析实验课程思政的推进过程中,结合实验特点,挖掘了实验教学中所蕴含的社会责任感、家国情怀、朋辈榜样以及科学素养等思政元素,通过“二式二化”(实验内容开放式、实验样品现实化、实验项目自主式、实验评价多维化)设计,探讨了学科知识与思政元素深度融合的策略与方法。采用“自主设计”与“虚实结合”实验教学方法,构建了“电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)法测定家乡饮用水源金属元素含量”综合实验教学模式,实现了思政元素在实验过程中的多方位深度融合,明确了课程知识与思政元素两者之间交互性承载的媒介,构建了潜移默化的课程思政教育长效机制。实践表明,“自主设计+虚实结合”的综合实验教学模式有效克服了当前ICP-OES实验教学中存在的局限性和不足,可以较好地将实验教学内容、教学方法与思政元素多维度深度融合,实现学生自主学习积极性的提升,实现课程思政全方位育人的教学目标。“自主设计+虚实结合”的综合实验教学模式的教学环节连贯性、自主性特征明显,实验操作难度适中,有助于激发学生的实验兴趣,提升学生的学习积极性,实现学生综合实验技能和科学素养的协同并进。

## 参 考 文 献

- [1] 赵鹏,于川茗. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (22), 49.
- [2] 张树永,朱亚先. 中国大学教学, **2018**, No. 7, 4.
- [3] 商闯,常静. 化学教育(中英文), **2021**, *42* (2), 45.
- [4] 胡万群,张万群,邵伟,杨凯平,李维维,孙晴,朱平平. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2011003.
- [5] 郭琳琳,张金君,范小振,刘博静,苗成朋. 化学教育(中英文), **2024**, *45* (10), 25.
- [6] 刘宝林,宋丹萍,李维杰,袁敏,宋晓燕,姚秀雯. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2005020.
- [7] 陈素清,梁华定. 化学教育(中英文), **2023**, *44* (8), 36.
- [8] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知(教高[2020]3号). [2025-08-08]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603\\_462437.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html)
- [9] 吉玉,杨伟杰,刘艳杰. 实验教学与仪器, **2024**, *41* (9), 9.
- [10] 简慧敏,张桂玲,谭丽菊,包木太. 大学化学, **2022**, *37* (10), 2203075.
- [11] 王春霞,刘艳红,杨凤. 实验科学与技术, **2024**, *22* (5), 70.
- [12] 邵黎雄,陆建梅,姜雪峰. 化学教育(中英文), **2023**, *44* (20), 54.
- [13] 李甜,张莉萍,刘玲,李瑞芳,毛龙飞,杨晖. 大学化学, **2024**, *39* (6), 189.
- [14] 吕昭月,陈哲昊,倪一,罗锻斌,洪显峰. 大学化学, **2024**, *39* (11), 304.
- [15] 陈永生,邓树林,胡锋,符姜燕,刘付. 农产品加工, **2024**, No. 24, 91.
- [16] 柴晓燕. 实验室科学, **2024**, *27* (5), 85.
- [17] 王玉芹,陈俏钰,陈怡馨. 实验室研究与探索, **2024**, *43* (6), 138.
- [18] 肖自胜,刘洪榜,谭印杰,刘思怡,兰支利,何斌鸿,尹笃林. 湖南师范大学自然科学学报, **2025**, *48* (2), 25.
- [19] 杨海华,周民杰,何斌鸿,许文苑,陈冰,梁恩湘. 大学化学, **2024**, *39* (10), 426.

- [20] Letitia, P. *J. Chem. Educ.* **2020**, *97* (5), 1460.
- [21] Filipe, R.; Arminda, A.; Vera, H. *J. Chem. Educ.* **2022**, *99* (9), 3218.
- [22] Azeem, R.; Shehzada, M. J.; Khalid, A. *J. Chem. Educ.* **2021**, *98* (9), 2919.
- [23] 冯乾伟, 王兵, 马先杰, 蒋宗宏, 陈淼. 矿物岩石地球化学通报, **2020**, *39* (4), 863.
- [24] 孙卫东, 李聪颖. 岩石学报, **2020**, *36* (1), 1.
- [25] 付胜云, 陈启亮, 邓蕾. 中国地质调查, **2022**, *9* (2), 50.