

一流学科建设背景下“材料化学成分分析”课程教学改革

庄媛^{1,*}, 厉文辉², 李杰¹

¹北京科技大学自然科学基础实验中心, 北京 100083

²北京科技大学化学与生物工程学院, 北京 100083

摘要: 基于一流学科建设对人才培养的要求, 开展“材料化学成分分析”课程建设。采用“线上+线下”和“理论+实验”结合的方式, 将大型仪器引入实验教学, 构建“课堂学习-线上自学-小组设计-开展实验”的教学体系和多元化评价方法, 强调学生的主体地位, 并开展课程思政建设, 培养学生专业素养、科研思维、创新与实践能力。

关键词: 一流学科; 课程思政; 混合式教学; 大型仪器; 设计型实验

中图分类号: G444

Curriculum Reform of “Chemical Composition Analysis of Materials” under Background of First-Class Discipline Construction

Yuan Zhuang ^{1,*}, Wenhui Li ², Jie Li ¹

¹ Basic Experimental Center for Natural Science, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.

² School of Chemistry and Biological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.

Abstract: This study implements teaching reforms for the “Chemical Composition Analysis of Materials” course in alignment with the talent cultivation objectives of first-class discipline construction. We developed an integrated pedagogical framework combining online-offline learning with theoretical-practical instruction, incorporating sophisticated instrumentation into experimental teaching. The established “classroom learning - online self-study-group design - experimental implementation” teaching system is supported by a multidimensional evaluation approach. This reform emphasizes student-centered learning while integrating ideological and political elements, effectively enhancing students' professional competencies, scientific thinking, and innovation capabilities through design-oriented experiments.

Key Words: First-class discipline; Ideology and political education; Blended learning; Large-scale instrument; Design-oriented experiment

《统筹推进世界一流大学和一流学科建设总体方案》和《统筹推进世界一流大学和一流学科建设实施办法(暂行)》要求一流大学和一流学科建设需要有高质量的本科生教育, 资源配置、政策导向体现人才培养的核心地位。“双一流”建设将学科建设在我国高校发展中的地位提升至一个新的高度, 人才培养是高等教育的根本任务, 也是一流学科建设的落脚点^[1]。课程建设在学科“双一流”建设的过程中起着基础性的作用, 是学校发展和学科建设的核心支撑。因此, 在一流学科建设的进程中, 应彰显课程的育人价值, 特别是要发挥好课程对于拔尖创新人才培养的作用^[2,3]。

收稿: 2024-07-22; 录用: 2024-09-18; 网络发表: 2025-04-08

*通讯作者, Email: zhuangyuan@ustb.edu.cn

基金资助: 北京科技大学2020年度本科教育教学改革与研究面上项目(JG2020M55); 北京科技大学2021年度校级规划教材建设项目(JC2021YB042); 北京科技大学2023年度课程思政教材建设项目(KCSZJC2023YB008)

在一流学科建设过程中,专业教育与产业脱节、与实际工作耦合度低,高质量工程人才紧缺^[4]等仍是本科教学过程中存在的重要问题。因此,推动产业发展和教育教学的深度融合,优化教学水平,提高教学创新能力,以提升高等教育水平,培养拔尖创新人才是材料专业“双一流”建设的主要任务^[5]。结合我校一流学科建设的要求,我校自然科学基础实验中心开设了“材料化学成分分析”公共选修课。课程依托大型仪器平台优势资源,通过采用“线上+线下”“理论+实验”“必修+选修”等方式,以设计型实验为载体,将专业知识与实际应用相结合,将大型仪器操作引入实验教学,解决了教学过程中知识与应用脱节的问题。在理论与实践教学中开展了过程式、多元化评价体系建设,着重锻炼学生的动手实践能力。此外,课程将科研中获得的专业前沿知识、科研思维和方法融入教学课堂,并开展课程思政建设,提高学生的学习积极性,提升学生的专业素养^[6],培养兼具学术背景和产业潜力的本科人才,从而推动材料专业本科教学改革,提高本科生培养质量。

1 课程开设的必要性与课程建设要求

1.1 课程开设的必要性与现状

材料科学与工程专业是一个涉及材料学、工程学、化学和物理学等多个学科的宽口径专业。化学相关知识是材料专业核心素养和知识体系中必不可少的组成部分^[7]。其中,材料化学成分分析是材料制备、结构、性能和应用的基础,是材料专业本科生培养的重要内容。在高校材料专业开设的材料化学成分分析方法的实验课程中,应用大型仪器的实验对培养学生的专业素养具有重要作用^[8,9]。

材料化学成分分析方法多涉及大型仪器,受大型仪器数量、空间条件和管理制度等客观条件影响,上机实验课较难开展,相关课程教学以往主要以课堂教学为主。部分高校在课程教学中设置了实验内容,学生通过观摩和参与仪器的部分操作步骤等方式从课堂走向实验室,能够在一定程度上增加学生的专业认知与实践能力。然而,这些实验内容一般较为固定、单一,学生在按部就班完成实验的过程中往往缺乏主动思考与探索式学习,参与度低,获得的专业训练不足。

1.2 大型仪器应用于本科教学的解决方案

将大型仪器平台与本科教学结合,为上述问题提供了解决思路。我校自然科学基础实验中心分析测试平台承担了多种用于材料化学成分分析的大型仪器管理、维护和测试等工作,且具备实际样品前处理的实验条件,为材料化学成分分析课程的教学改革提供了硬件支撑和保障。中心测试平台中大型仪器的管理教师多为实验教学专任教师,有着丰富的实验教学经验,为材料化学成分分析课程的开设提供了师资保障。

此外,通过将课程教学内容纳入平台开放共享计划,利用平台的互联网资源建设成果,可解决大型仪器共享平台与本科教学的衔接问题和大型仪器参与课程教学过程中的管理问题。这些措施,为大型仪器应用于本科教学提供了充分有利的条件。

1.3 课程建设要求

(1) 知识深度理解,突出实践育人特色

材料化学成分分析兼具理论性与实践性,课程建设应为理论与实验相结合的形式,并通过增加实验部分学时突出课程的实践育人特色。由于理论知识涉及面广,可利用“互联网+”及多种教学形式^[10],为学生提供丰富多彩的知识学习平台。

(2) 科学思维培养,提高创新能力

传统教学内容、教学模式、考核评价体系等难以契合一流学科建设对学生科学思维与创新能力培养的要求。因此,课程需要从上述多方面进行建设与改革,例如,通过在教学过程中设置与生产、生活息息相关的设计型实验,让学生从生产生活中取材分析,提高学生学习的兴趣;通过实验条件探索等步骤,培养学生科研素养。

(3) 知识价值塑造,开展课程思政建设

实验课程是承载思政教育的重要课堂。2020年6月教育部印发的《高等学校课程思政建设指导纲

要》要求，实验类课程应注重学思结合、知行统一。传统教学过程中知识传授与课程思政在实验中的融入重视不足，实验项目缺乏具体思政目标，实验内容不能与时俱进。因此，在课程建设过程中需精准设计专业教学与德育的有机结合点，创新实验内容，丰富每个实验项目的课程思政要素，并注重企业中新技术的应用与思政要素的结合，培养学生社会责任感。

2 材料化学成分分析课程建设实践

2.1 课程概况

课程共16学时，分为理论知识学习(4学时)和设计型实验(12学时)两部分。理论知识部分占4学时，通过对科研和工作中常用的材料化学成分分析方法和相关大型仪器及其生产与科研实例进行讲解与分析，使学生掌握课程的基本知识，提高学生学习热情。理论知识部分主要介绍样品的采集与处理、样品前处理、常用分析方法与大型仪器相关知识。为了让学生更加系统地学习课程知识，并在接下来的线上学习部分充分地开展自主学习，将材料化学成分分析所有大型仪器降解部分分为三大模块，分别为色谱分析法、光谱分析法和和其他仪器分析方法。其中色谱分析法主要讲解离子色谱仪、气相色谱仪、液相色谱仪；光谱分析法模块主要讲解原子吸收光谱仪、原子发射光谱仪、红外光谱仪；其他仪器分析方法部分主要讲解元素分析仪、氮氧分析仪、碳硫分析仪、比表面分析仪和差热热重分析等其他常用分析方法。设计型实验部分是课程的教学重点，学生从多项设计型实验项目中(表1)根据兴趣选择满12学时实验，完成实验设计与实验报告。根据课程特点和学分要求，每个学生将选择2-3个实验开展学习。在实验过程中，教师通过对实验内容进行“线上+线下”讲解的方式，促进学生对实验相关知识的深度理解；通过让学生参与实地样品采集、样品前处理和样品测试的全过程，培养学生科研素养；通过在实验的过程中融入课程思政，培养学生职业素养与家国情怀。

表1 设计型实验项目

实验项目	学时	仪器设备	训练要点	应用
发射光谱定性分析试样中所含未知元素	4	原子发射光谱仪	样品的分解、测试方法	样品中金属元素及磷、硅、砷、碳、硼等非金属元素的定性分析
原子吸收法测水泥中氧化钠、氧化钾	6	原子吸收光谱仪	样品的分解、标准曲线的测定、测试方法	样品中Na、K等元素含量的定量测定
分光光度法测定室内甲醛含量	8	分光光度计	样品的采集、标准曲线的测定、测试方法	样品中元素、分子、细菌等浓度的测定
钢铁中C、S含量的测定	4	碳硫分析仪	测试方法、测试原理	无机物、有机物及其它材料中碳、硫元素的质量分数
国内主要煤矿所产煤中硫含量的测定	4	元素分析仪	样品的采集、测试方法	样品中C、H、N、S含量的测定

课程面向全校理工科专业的本科高年级学生开设，主要针对材料专业学生。我校材料专业本科生在大学一、二年级必修无机化学实验、物理化学实验、分析化学实验和有机化学实验等实验课程，具有化学实验基础，具备一定的实验室基础知识和实验室安全知识，能够有效保证课程学习效果。

2.2 课程建设与教学特色

(1) 产学研结合的实验设计

课程理论知识及实验部分内容的设计均与生产和科研紧密相关。一方面，根据实际生产中化学成分分析特点，理论部分重点讲解方法的样品要求、测试原理、适用范围及应用实例，并关注不同大型仪器在相关分析测试过程中的局限性。如，讲解水泥中的Na、K含量的测试方法，要根据测试元素种类说明采用原子吸收光谱法进行测定而不采用原子发射光谱法测定的原因。另一方面，实验

内容也包含材料成分分析的全过程,从样品的采集、样品的分解、标准曲线的绘制到样品测试。这些实验内容与实验过程与生产生活实际联系紧密,在实验教学的过程中,学生的学习兴趣与学习参与度较传统实验明显提高,取得了良好的教学效果。

此外,为了提高学生科研素养,培养学生团队协作精神、独立思考能力和学习能力,将设计实验部分与科研工作相关联。例如,在“发射光谱定性分析试样中所含未知元素”这一实验中,鼓励学生自带日常生活中接触到的一些合金物品,通过测定物品中的金属和非金属元素含量,结合作品的用途,可以引导学生思考材料化学成分与性能之间的关系,培养学生的科研思维。

(2) 系统性与特色化的课程思政教学

根据课程特点,将家国情怀、职业素养、合作能力、反思能力、环保意识、细心与耐心和全局观等理念融入课堂教学和设计性实验的全过程(图1)。建立“实验项目-思政要点”对应关系,从实验中提取优质课程思政案例,使课程思政教学兼具系统性与特色化。

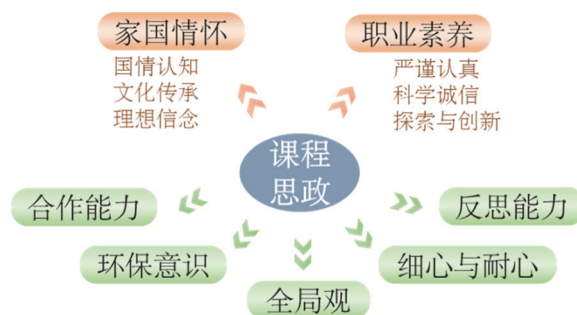


图1 材料化学成分分析课程思政设计框架

通过设计性实验项目设置,使材料化学成分分析与国家重大需求紧密结合,以实现“知识传授”和“价值引领”的有机统一^[11]。同时,根据社会热点和科研新进展不断更新实验,做到课程思政建设的与时俱进。

以近年来设计性实验部分开展的“国内主要煤矿所产煤中硫含量的测定”这一实验的课程思政要点设计为例:首先,通过分析国内煤炭分布与产量,结合煤矿形成机制分析,让学生了解我国煤炭储量及特点,提取“家国情怀”思政要点;然后,结合当前国际能源形势分析,倡导学生在日常生活中节约能源,提高学生社会责任感;此外,硫是煤炭中的主要有害成分,硫在煤炭燃烧的过程中被氧化成二氧化硫,是主要大气污染物之一,通过对大气污染的危害进行举例分析,提取“环保意识”思政要点。

(3) 混合式教学模式改革

根据课程特点与能力培养要求,构建了“课堂学习-线上自学-小组设计-开展实验”的教学过程和“线上”与“线下”相结合的混合式教学模式,并针对不同教学过程设置相应的教学方案和能力提升规划(图2)。

在理论教学部分,线下教学为4学时的课堂教学,主要为基础知识学习;线上教学主要利用“互联网+”和“雨课堂”^[12]智慧教学工具(图3a)开展,其中“互联网+”是指慕课视频(图3b)和仪器开放平台在线学习等形式,“雨课堂”教学工具通过在课下为学生推送课程相关PPT和试题,为学生提供多种形式的自主学习平台。线下教学过程主要讲解样品的采集与处理原则与方法、大型仪器涉及的实验室安全知识、常用分析方法与大型仪器相关测试范围,线上教学资源涵盖了每台大型仪器的结构、原理、具体测试步骤和样品测试方法。通过线下教学,学生可以了解课程的基本知识和实验安全注意点,线上教学内容图文并茂,可以作为线下教学的补充,供学生在实验课前对仪器进行充分和必要的了解,有利于线下实验的安全、顺利开展。

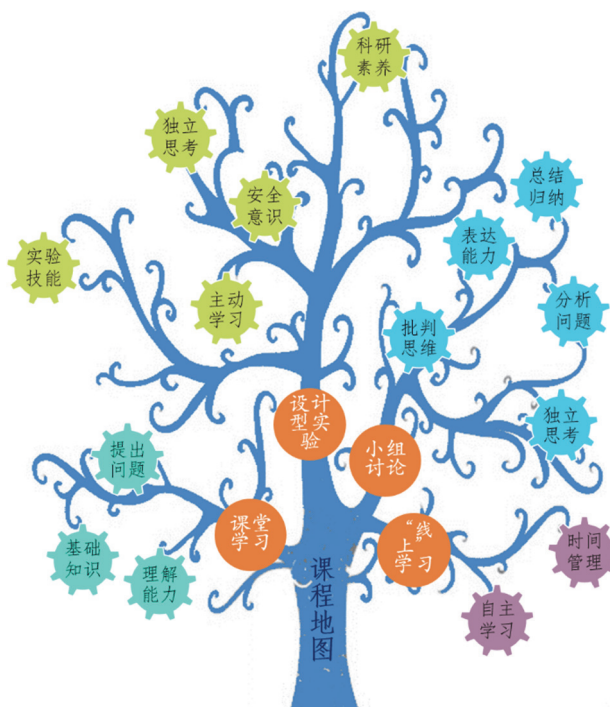


图2 课程教学模式与基于教学过程的能力提升



图3 课程线上教学方案：(a) “雨课堂”智慧教学工具教师手机端界面，(b) 通过慕课平台线上学习，(c) 实验室安全准入线上答题，(d) 通过微信开展线上小组讨论，(e) 大型仪器(元素分析仪)及二维码信息

实验教学部分包括小组设计和设计型实验开展两个教学过程,按照学生的实验项目选择情况,将学生分成2-5人的小组,以小组为单位查阅资料、讨论并完成实验设计后,开展实验、处理与总结数据并完成实验报告。在实验教学部分,教师对小组的实验设计和实验实施进行科学的引导与指导,为学生提供充足的学习资料和相关实验案例,保障实验的顺利进行。在小组设计过程中,教师为学生提供基本的设计思路和必要的资料,学生以小组为单位完成设计报告并提交,学生可线上(仪器平台或公共邮箱)下载相关资料,面对面或利用微信等社交工具(图3d)充分参与实验设计的讨论与交流。在实验开展前,学生需通过“雨课堂”线上答题(图3c)获得实验室准入资格^[13],线上答题内容主要为实验基本操作和实验室安全知识。实验过程要求学生严格按照规程操作,获取实验数据并完成实验报告。此外,利用互联网技术对大型仪器进行信息建设,生成仪器信息二维码,张贴于仪器醒目位置(图3e),学生可通过扫描二维码获得基本原理、操作方法和测试范围等信息,在实验过程随时参考并学习。

通过优化教学环境激发学生创新与合作的驱动力。为解决教学过程中学生合作学习和创造性思维训练不足的问题,通过构建开放型的智慧教室,让学生自由讨论、自主选择实验项目,营造宽松的线下互动氛围,与线上互动相呼应,激发学生创新与合作的热情。

2.3 基于过程的多元化评价方法构建

依据课程教学要求和课程教学模式改革,构建了基于教学过程多元化评价方法(表2)。评价方法以素质教育、思维训练和技能培训为目的,基于课堂教学、线上自学、小组设计与讨论、设计型实验四个教学过程及其能力提升目标(图2)设计。每个教学过程对应一个或多个评价要素与评价方法,针对每个评价要素设置相应分数占比。例如,课堂教学过程通过课堂问答及课后作业结果进行赋分;小组设计与讨论过程考察线下研讨学习中小组成员的参与度与相互协作,教师先根据各小组讨论的积极程度、小组成员是否能够表达观点和设计报告是否完整全面进行小组整体赋分,再对小组成员中分析问题全面、透彻和能够积极参与完成设计报告的同学予以适当加分;根据实验涉及的大型仪器特点,在实验开始前,通过进行安全知识与安全要点考察,确保学生掌握了实验过程中的安全操作要素。

表2 基于教学过程多元化评价方法

教学过程	评价要素	评价方法	分数占比
课堂教学	学习参与	课堂问答与作业	10
线上自学	学习效果	“雨课堂”在线答题	10
小组设计	组内合作	参与度与协作能力	10
与讨论	设计报告	内容清楚 结构完整	20
实验开展	实验准入	安全知识测试	10
	实验素养	独立实验 动手能力	10
	实验报告	结构完整 分析全面	30

在成绩组成方面,理论知识学习部分(包括课堂教学与线上自学)占总成绩的20%,小组设计与实验部分占总成绩的80%,以此突出实验部分在课程中的主体地位,教师根据学生在每个教学过程中的表现进行科学评分。基于过程的多元化考核机制能够指导并帮助学生更好地参与到各个教学过程,发挥学生在实验中的主体地位,发挥学生主观能动性。

2.4 基于仪器共享平台的实验教学

如何将平台运行和管理与课程实验教学衔接是课程实验教学部分能否顺利开展的关键^[14,15]。在平台仪器机时预约方面,根据课程安排在仪器共享平台设置“教学服务”时间,在教学实验期间暂

停科研服务预约。在大型仪器效益评价方面,通过提高人才培养在效益评价中的权重(表3),制定合理的激励机制,提高仪器管理教师参与教学工作的积极性。如,将学生上机机时折合成实验教学工作量(教学工作量=上机机时*X, X为相应系数),提高实验教学工作量教学津贴发放标准^[16],提高教师教学服务收入;通过设立实验教学成果相关奖项,将大型仪器实验教学作为年终考核和岗位聘任重要指标,提高教师教学服务水平和积极性。

表3 大型仪器设备效益评价权重

项目	学校考核规定	平台考核办法修订
机时利用	35%	35%
人才培养	20%	35%
科研成果	25%	15%
服务收入	15%	10%
功能利用与开发	5%	5%

此外,大型仪器具有资源稀缺性特征,这决定了平台要想为更多学生学习提供条件,必须采取新的教学手段和教学方法^[17]提高仪器的教学效率。在教学过程中,通过微信“雨课堂”、微信公众号、平台网络等互联网资源引导学生线上学习、将小规模限制性在线课程(SPOC)教学理念用于大型仪器教学、探索仪器教学的混合式教学模式等措施,保障学生在进行仪器操作前已经掌握了仪器相关的理论知识和实验安全操作要点,在提高教学效率、保障实验教学过程中的实验安全等方面取得了良好成效。

3 效果评价

教师在课程学习过程中通过基于“互联网+”的课上与课下沟通等方式了解学生学习情况并获取教学反馈,以便于教学内容与教学模式的及时更新与调整。对参与课程学习的学生进行问卷调查结果显示:学生对材料化学成分分析相关知识较为熟悉的比例从参与课程学习前的8.3%增长至93.3%;在选择实验内容时,26.7%的同学更看重学习兴趣,63.3%的同学更注重相关实验与自己专业的相关性,10%的同学则更注重实验的难易程度;在完成本课程学习后,100%的学生均能独立开展或在老师指导下开展课程相关分析测试工作;86.7%的同学反映课程学习的难易适中,而13.3%的同学反映课程偏难,学习难度主要集中在实验设计部分;所有学生均反馈,大型仪器类研究型实验是他们了解专业发展现状、学习科研方法的重要途径。

学习资源的网络化建设也促进了学生学习模式的转变。课程通过为学生提供多种形式的线上资料供学生随时下载并查看,满足学习需求的个性化和多样化。86.7%的学生通过设备开放共享平台网上学习、公共邮箱下载学习资料、扫描仪器二维码获取资料、“雨课堂”自学与考试、慕课平台、搜索引擎搜索资料等方式中的两种或两种以上进行线上学习,学生学习从被动学习向主动学习转变。

4 结论与建议

在高校创建一流大学和一流学科的过程中,对本科生培养提出了新的要求。通过开展“材料化学成分分析”课程教学改革,构建了以设计型实验、大型仪器教学、混合式教学、理论与实践相结合为特色的课程体系。以“课堂学习-线上自学-小组设计-开展实验”教学过程为基础,建立了过程化、多元化评价方法,并开展课程思政建设,在促进学生掌握扎实的专业知识、锻炼学生养成严谨的科研思维、提高本科生创新能力与实践能力和培养高素质的本科毕业生等方面起到重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 刘仁山. 国家教育行政学院学报, **2018**, No. 6, 50.
- [2] 张铭凯. 高校教育管理, **2018**, *12* (3), 7.
- [3] 吴玲英, 李滢波, 郭龙. 现代大学教育, **2022**, *38* (6), 30.
- [4] 周光礼. 现代大学教育, **2019**, No. 3, 1.
- [5] 李立国, 张茂聪. 建设一流学科要重视学科群与交叉学科[N]. 光明日报, 2017-09-04 (11).
- [6] 魏要伟, 胡俊华, 赵红亮, 朱金阳, 曹国钦. 中国现代教育装备, **2022**, No. 23, 119.
- [7] 刘艳霞, 赵麟, 张亚刚. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (8), 21.
- [8] 宋兴辉, 刘双双, 黄莹莹, 李艳伟, 王佳佳, 郭春, 邢月婷. 实验技术与管理, **2022**, *39* (4), 232.
- [9] 张海南, 张敏, 李贺, 王世杰, 周勇义, 刘加彬. 实验技术与管理, **2023**, No. 11, 258.
- [10] Armando, F. *Commun. ACM* **2013**, *56* (12), 38.
- [11] 高德毅, 宗爱东. 思想理论教育导刊, **2017**, No. 1, 31.
- [12] 王帅国. 现代教育技术, **2017**, *27* (5), 26.
- [13] Uijl, S.; Filius, R.; Cate, O T. *Med. Sci. Edu.* **2017**, *27*, 237.
- [14] 吴建国, 杨正宏. 实验室研究与探索, **2007**, No. 11, 130.
- [15] 徐伟杰, 徐明, 郭彤, 宗周红, 刘艳. 实验技术与管理, **2019**, *36* (4), 197.
- [16] 金仁东, 柯红岩, 崔家瑞. 实验技术与管理, **2018**, *35* (1), 21.
- [17] 郭明, 夏琪涵, 周建钟, 文先红, 吴荣晖, 李铭慧. 化学教育(中英文), **2019**, *40* (6), 30.