

## 物理化学实验的课程思政设计与混合式教学实践 ——以“Pb-Sn二元金属相图”为例

陈阳, 王秀英, 贾能勤\*

上海师范大学化学与材料科学学院, 上海 200234

**摘要:** 以物理化学实验中“Pb-Sn二元金属相图”为例, 阐述“认知-学习-实践-反思”过程的课程思政设计, 将思政元素有机融入课前预习/感知、课中实践/探究和课后反思/拓展三个环节。通过录制教学视频、搭建在线学习平台、完善评价反馈机制、拓展交流创新空间, 开展线上线下混合式教学实践, 完成“知识传授-能力培养-价值塑造”的教学目标, 学生坚定文化自信、厚植家国情怀、提升科学素养、增强合作和创新意识, 实现全方面育人。

**关键词:** 金属相图; 课程思政; 混合式教学; 科学精神; 思辨能力; 创新意识

**中图分类号:** G64; O6

## Ideological and Political Design, Blended Teaching Practice of Physical Chemistry Experiment: Pb-Sn Binary Metal Phase Diagram

Yang Chen, Xiuying Wang, Nengqin Jia \*

College of Chemistry and Materials Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China.

**Abstract:** This paper takes “Pb-Sn binary metal phase diagram” as a case study in Physical Chemistry Experiment to illustrate the integration of ideological and political education within the “Cognition-Learning-Practice-Reflection” framework. The course design seamlessly incorporates ideological and political elements into pre-class preview and perception, in-class practice and exploration, and post-class reflection and expansion. Blended teaching practices are implemented through the recording of instructional videos, the development of an online learning platform, the enhancement of evaluation and feedback systems, and the creation of spaces for innovative exchange. These efforts aim to achieve the holistic educational goals of “knowledge acquisition, skill development, and value shaping”. As a result, students are encouraged to build up cultural confidence, foster patriotic sentiment, enhance scientific literacy, and strengthen innovation consciousness, ultimately promoting comprehensive development.

**Key Words:** Metal phase diagram; Course ideological and political education; Blended teaching; Scientific spirit; Critical thinking; Innovation awareness

### 1 引言

教育是立国之本、强国之基, 建设教育强国是实现中华民族伟大复兴的基础。近年来, 随着课程专业的日益细化, 课程之间的融通性逐渐降低, 思政教育在理工科课程中出现不充分和不自觉的现象。早在2016年, 习近平总书记在全国高校思想政治工作会议上强调“要坚持把立德树人作为中心环节, 把思想政治工作贯穿教育教学全过程, 实现全程育人、全方位育人”<sup>[1]</sup>。2020年, 教育部印

发《高等学校课程思政建设指导纲要》，提出“全面推进高校课程思政建设，发挥好每门课程的育人作用”<sup>[2]</sup>。推进高校课程思政建设、落实立德树人根本目标是新一轮教学改革的首要任务。

物理化学是化学专业的一门核心课程，旨在应用物理和化学方法研究化学运动和反应过程的普遍规律，具有概念抽象、公式繁多、体系复杂的特点。近年来，专家学者充分挖掘思政元素，设计教学新模式，形成了一系列课程思政改革范例<sup>[3-5]</sup>。物理化学实验是物理化学课程体系的重要组成部分，旨在帮助学生理解和应用物理化学知识，是促进理论与实践有机统一的良好载体。相较于教师讲授为主的理论课，物理化学实验教学环节还包含示范实验流程、强调重难点和注意事项、指导学生实践等，侧重于实验技能的培养和数据结果的“求真”，缺乏人文素养、科学精神等思政元素，忽略课程思政“真善美”的统一，普遍存在思政设计不深入、学生参与不足、育人成效难考核等问题。如何将思政教育和专业知识有机融合并贯穿于教学实践是开展实验类课程思政改革的首要难点。此外，该课程需在专业的物化实验室开展线下教学，存在课程容量大与课堂学时少的矛盾，这也是导致难以推进课程思政改革的重要因素。

本文针对实验类课程常见的“硬融入”“表面化”等现象，提出在“认知-学习-实践-反思”全过程中巧妙地融入文化自信、家国情怀、科学素养、合作意识、创新意识等思政元素，并借助在线学习平台，解决“重实验、轻理论”“只知其然，不知其所以然”的痛点，将课堂空间拓展到课前和课后，开展线上线下混合式教学，实现知识传授、能力培养和价值塑造的多元统一。

## 2 课程思政设计案例与混合式教学实践

### 2.1 案例背景

金属相图是描述金属和合金在不同温度、组成条件下的组织特性和相变规律的图，是设计和优化金属合金的重要工具。目前，主要选用毒性低、具有最低共熔点、高温不易被氧化的Pb-Sn或Bi-Sn体系研究二元金属相图<sup>[6,7]</sup>。白云山课题组提出双层样品炉设计，有效控制环境与样品的温差，配合多个风扇档位，提高了步冷曲线的精确性<sup>[8]</sup>；进一步结合计算机组态软件和可编程逻辑控制器，实现仪器的自动化控制，减少人工读数的偶然误差<sup>[9]</sup>。

除了仪器装置改进和操作流程优化，研究者在教学手段、思政设计等环节，也开展了持续改革和实践。针对传统线下课程学时紧张、思政元素欠缺的问题，张杰<sup>[10]</sup>将“翻转课堂”应用于教学实践，打破了时间和空间的限制，突出了学生的主体地位，提升了学生的自主学习能力，实现“先学后教”知识内化，但学生在构建实验类课程知识图谱过程中仍需体现“实践出真知”的客观规律。李将渊等<sup>[11]</sup>设计开发了基于LabVIEW™ 7 Express自动绘制二元金属相图的虚拟仪器系统；薛莉等<sup>[12]</sup>同样借助虚拟仿真实验，为学生提供更多试错空间，培养学生的独立思考能力。虚拟仿真平台无法完全替代真实的实验场景，其可以作为实验环节的有效补充，二者有机结合有望增强学生的团结协作能力和探索创新意识。最近，程敬泉<sup>[13]</sup>引入问题式教学法，采用预设问题，组织学生小组讨论，引导学生运用物理化学知识分析、解决实际问题，培养学生的思辨能力。

上述教学实践充分体现了“以学生为主体”的教学理念，融入了自主学习、求真求知、批判思辨等思政元素，然而与其他实验类课程类似，弱化了人文素养、科学精神、合作意识、探索创新等思政元素。

### 2.2 课程思政设计

本文以具有最低共熔点的“Pb-Sn二元金属相图”为例<sup>[6]</sup>，具体阐述“认知-学习-实践-反思”过程的课程思政设计理念(图1)，全面提升学生的文化自信、家国情怀、科学素养、合作意识和创新意识。在此基础上，开展基于“课前预习/感知(线上)-课中实践/探究(线下)-课后反思/拓展(线上/线下)”的混合式教学实践，测定纯金属和不同组分合金的步冷曲线，识别特征相变温度(拐点、平台)，绘制完整的二元金属相图，研究影响步冷曲线斜率的因素，辩证分析金属相图的合理性和局限性，鼓励学生开展创新性实验探究。

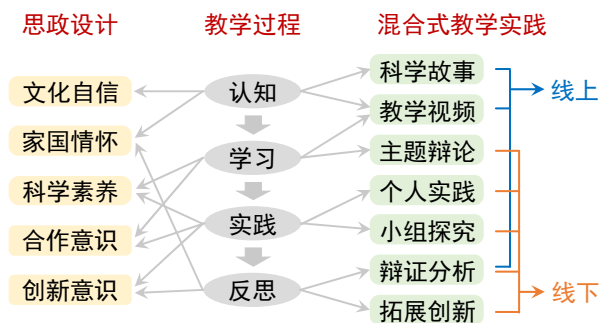


图1 蕴含课程思政理念的“Pb-Sn二元金属相图”教学设计

将文化自信、家国情怀、科学素养、合作意识、创新意识等思政元素有机融入“认知-学习-实践-反思”课程主线中，实现全方位育人。具体地：

(1) “认知”：引导“价值观”，坚定文化自信，加强情感认同，涵养家国情怀。

课前通过线上学习平台发布我国卓越科学家——金展鹏院士故事<sup>[14]</sup>和金属相图学科进展，以生动的实例激发学生的学习兴趣，拓宽学术视野，了解我国科研工作者对推动学科进步的贡献，感受科学家追求卓越的精神，坚定文化自信和民族自豪感。

(2) “学习”：培养“真理观”，追求真知卓识，深化科学思辨，鼓励探索未知。

课前线上观看教学视频，理解并掌握“二元金属相图绘制”实验原理，了解仪器工作原理和基本操作流程，完成在线预习评测。线下课堂教学，开展主题辩论和分组讨论，确定影响步冷曲线的关键参数变量，使学生“知其然，知其所以然”，掌握知识演绎的过程、感受科学思辨的魅力，鼓励学生不断追求真理、探索未知。

(3) “实践”：强化“实践观”，坚持实践主体，培养科学素养，增强合作意识。

以线下实验为载体，动手实践，巩固相图基础理论，深入理解步冷曲线、最低共熔点等概念。选择主题辩论辩题，开展小组探究实验，增强合作意识，重视学术规范，强化科学素养；鼓励提问交流，培养质疑精神。

(4) “反思”：提升“科学观”，强化辩证思维，挖掘创新潜能，提升创新意识。

课上积极反思，以互动讨论为基础、交流反馈为媒介，建立反思评价机制，“不唯书、不唯上”，引导学生辩证分析所绘制金属相图的合理性和局限性。课后挖掘创新潜能，鼓励学生针对实验方案不足之处开展创新设计，提升创新意识。

### 2.3 混合式教学实践

搭建基于“超星学习通”的在线学习平台，开展基于“课前预习/感知(线上)-课中实践/探究(线下)-课后反思/拓展(线上/线下)”的混合式教学实践，促进全程育人。

#### 2.3.1 课前预习/感知——“知其然”

课前在学习平台发布金展鹏院士人物事迹和科学故事，激发学生学习兴趣，传播科学家精神，坚定文化自信，加强情感认同，提升民族自豪感。金展鹏院士在20世纪80年代首创“金氏相图测定法”(即“三元电子扩散偶——电子探针微区成分分析”)，国际上首次实现了用一个试样测定三元相图整个等温截面的重大突破，留下“以1胜52”的美谈(即1个试样结果优于德国科学家52个试样)<sup>[14]</sup>。此外，金院士还被誉为“中国的霍金”，患病瘫痪仍潜心研究，提出了“热化学磁矩法”理论，建立了相图数据库，被国际上广泛应用，奠定了我国在相图领域的学术地位<sup>[15]</sup>。

学习平台还提供了金属相图的学科发展与前沿进展等内容。以炼铜工艺为例，学生可以了解二元金属相图的发展历程：紫铜/红铜(近似纯铜，化学“三红五黑”之一，应用于电线、电缆等) → 青铜(Cu-Sn合金，举例司母戊鼎、虢季子白盘、越王勾践剑等文物) → 黄铜(Cu-Zn合金，黄铜铸钱、家用黄铜阀门等) → 白铜(Cu-Ni合金，介绍辨别白铜和银的方法) → 特殊的含微量铅/铁/锌的红铜

(圆明园十二生肖兽首铜像, 启迪学生正视历史、爱护文物), 感受金属合金在中华文明、文物保护、日常生活中的应用魅力; 还可以了解先进合金材料(镁合金、钛合金、铝合金、高温合金等)在航空航天、船舶重工、武器装备等领域的前沿应用进展, 体会金属相图在推动科技进步和高端装备升级过程中的奠基石作用。

在感知金属合金的发展历程和前沿进展后, 学生观看提前录制的实验教学视频(图2), 该视频重点介绍了实验原理并演示了实验操作, 帮助学生掌握理论知识、了解仪器构造、熟悉操作步骤, 对实验整体思路“知其然”。

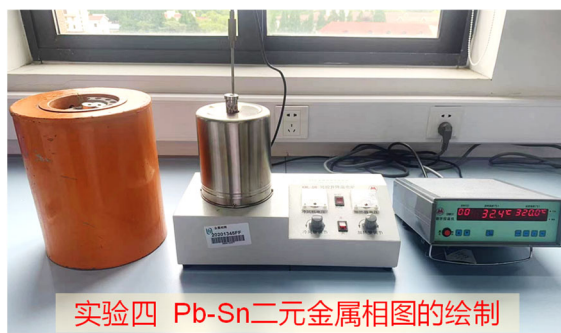


图2 在线教学视频

在完成视频学习进度后, 学生在线答题(以客观题为主), 评估预习效果, 提交答案后可以实时查阅解析, 进而带着问题走进线下课堂, 开展实验探究; 同时, 答题情况也供教师参考, 重点讲解普遍存在的共性问题。

例如: “填空题: 采用热分析法绘制Pb-Sn低共熔二元合金相图, 其中纯金属、最低共熔金属及其他组分合金的步冷曲线中转变温度各有\_\_\_、\_\_\_和\_\_\_个”。

又如: “判断题: 金属或合金步冷曲线的斜率与降温速率有关, 降温越快, 斜率越大”。

### 2.3.2 课上实践/探究——“知其所以然”

线下课堂教学, 讲解关键操作流程, 重申实验的重难点, 并强调注意事项, 每次有6-8名学生一起实验, 安排学生2人一组分别开展实验, 测定某一给定组分样品的步冷曲线, 共享原始数据, 绘制完整的二元金属相图。学生通过实验操作, 熟悉步冷曲线测定方法, 巩固相图理论; 结合实验结果, 组织学生参与开放话题讨论(表1), 加深对步冷曲线变化规律的理解, 做到“知其所以然”。

表1 “Pb-Sn二元金属相图”话题讨论实例

话题	讨论摘要	教师总结
1、不同组分合金的步冷曲线水平段长短为何有所不同?	固体凝固释放凝固热, 凝固热小的放热相对较少, 锡的凝固热小于铅, 因此混合物中含锡越少, 放热越少, 步冷曲线水平段长度越短	除了热力学因素, 水平段长短还受体系冷却速率和合金总质量影响
2、哪些因素会影响步冷曲线的斜率?	步冷曲线的斜率主要由体系与环境间的温差决定。当固体析出时, 释放凝固热, 步冷曲线发生折变。若放热能抵消大部分散失的热量, 折变就明显; 否则, 折变不明显, 易造成较大误差	除了体系与环境间的温差, 步冷曲线的斜率还受体系的热容量和热传导率等影响

在上述话题讨论的基础上, 鼓励批判质疑, 倡导合作交流。筛选影响步冷曲线绘制的关键参数变量(样品质量、熔化时间、降温速率), 小组成员先作为正、反方辩手, 开展主题辩论(表2), 再选择某个感兴趣的辩题, 进行合作探究实验, 确定最优条件, 在“大胆质疑、小心求证”过程中, 提升科学素养, 强化合作意识。

表2 “Pb-Sn二元金属相图”典型辩题实例

辩题	正方	反方	教师总结
1、如何选择待测金属或合金样品的质量?	尽量多, 样品少会导致体系降温过快, 步冷曲线的平台期不明显	尽量少, 样品过多容易导致样品蒸气挥发, 影响结果准确性, 且存在安全隐患	实际以样品管的容积1/3为佳
2、如何控制金属或合金样品的熔化时间?	尽量长, 否则无法保证样品完全溶解, 引入过失误差	尽量短, 时间过长可能造成样品的氧化程度与蒸气挥发量增加	熔化时间受加热功率、热传导率影响, 超过熔点50 °C为宜
3、如何控制金属或合金样品的降温速率?	尽量快, 降温过慢会延长实验时间, 难以在规定时间内完成实验	尽量慢, 降温过快容易造成高熔点样品析出过快, 体系温度不均匀, 实验误差大	降温速率控制在5 °C·min <sup>-1</sup> 为佳

此外, 在实验过程中, 引导学生关注实验细节、重视学术规范, 客观记录原始数据, 开展严谨科学研究。典型的实例是过冷现象及过冷过程中拐点温度的确定, 学生主观认为相变点附近出现温度先降低、后上升、再平稳的现象是实验失败了, 对原始数据产生怀疑。在此情况下, 教师需要强调原始数据的重要性, 引导学生正确理解合金在相变过程中的过冷行为, 并根据步冷曲线斜率大小直接取升温峰值(图3, 曲线a)或反向延长温度曲线(图3, 曲线b)确定相变温度<sup>[7]</sup>。

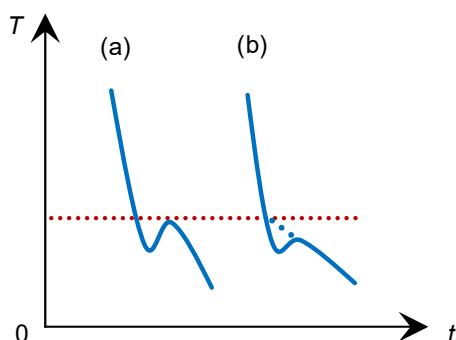


图3 步冷曲线中过冷现象的温度校正

### 2.3.3 课后反思/拓展——“知其所以必然”

鼓励学生积极反思实验结果, 引导学生辩证分析所绘制金属相图的合理性和局限性, 建立客观评价机制。例如, 实验教材中要求分别测定Pb、Sn纯金属以及含锡量为20%、40%、61.9%和80%的Pb-Sn合金的步冷曲线, 并绘制二元金属相图(图4a)。学生查阅文献资料可以发现, 图3a相图是不严谨的, 因为严格意义的Pb-Sn合金体系属于部分互熔固溶体(图4b)<sup>[13,16]</sup>, 而非本实验假定的简单低共熔物(图4a)。本实验中, 合金中Sn的含量在20%–80%, 没有进入 $\alpha$ 固熔体(< 19.5% Sn)和 $\beta$ 固熔体(> 97.4% Sn)区域, 无法确定固溶体在最低共熔温度线上的极限溶度, 因而无法绘制真实Pb-Sn部分互熔固溶体相图。学生在课后处理数据时, 鼓励其拓展学习, “不唯书、不唯上”, 在“知其然, 知其所以然”的基础上判断是否“知其所以必然”。

课程还完善了评价反思机制, 充分挖掘学生的创新潜能, 针对现有实验方案开展创新设计, 提升创新意识。例如, 本实验测定步冷曲线需每30 s记录一次温度值, 原始数据较多, 在实验过程中很难立刻发现异常数据, 或者不适当的冷却速率会导致拐点温度不明显, 这些情况只有在实验后通过计算机或者手绘步冷曲线才能发现, 重新补做实验会增大额外的时间成本, 极大地影响了实验效果。学生创新性提出“智能手机辅助步冷曲线实时可视化分析”, 先通过扫描软件识别原始数据, 再将

数据导入在线文档, 直接输出步冷曲线, 可以直观判定温度拐点和平台值, 增强了数据可视性, 极大地提高了实验效率。后续还可以继续开展创新设计, 整合数据扫描、图像输出、拐点识别等功能, 通过小程序扫描原始数据, 直接得到步冷曲线和对应的拐点温度。

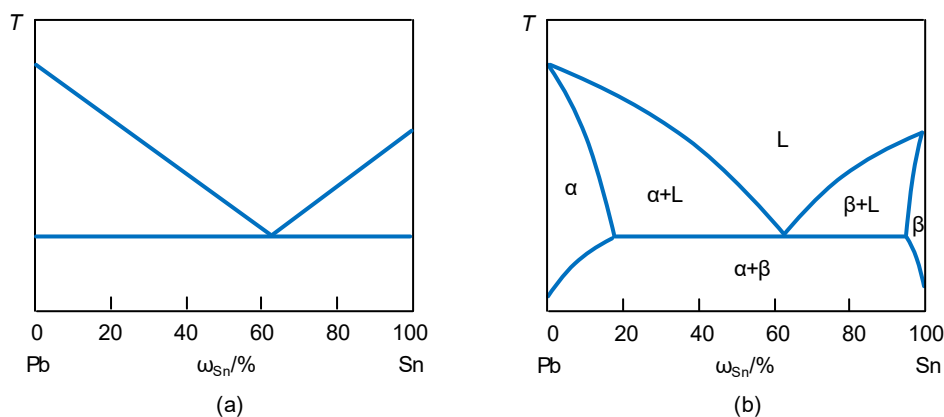


图4 简单低共熔物(a)和部分互熔固溶体(b)二元相图示意图

## 2.4 思政目标考核设计

本案例教学设计在课前-课中-课后阶段蕴含家国情怀、人文素养、科学精神等丰富思政元素, 课程考核主要采用过程性评价方案, “不唯答案、不唯书、不唯上”, 重点考查学生的动手实践能力、思辨能力和科学素养等。表3展示了本案例的课程思政目标与考核标准, 涵盖线上线下各环节, 充分调动学生的主观能动性。

表3 课程思政目标与考核设计

课程思政目标	考核途径	考核标准
文化自信、家国情怀	课前在线学习与预习评测	完成在线视频学习, 预习评测得分高于80%
科学素养、思辨能力	实验操作、开放讨论、主题辩论、实验报告(数据处理与误差分析部分)	实验操作规范, 原始数据记录完整, 数据处理严谨, 误差分析充分, 结论合理, 实验报告完成度大于90%; 积极参加课堂话题讨论, 人均发言次数大于1; 小组成员顺利开展主题辩论, 至少提出1条己方观点
合作意识	小组探究实验	小组成员合作完成探究实验, 客观记录原始数据, 分析结果得出有效结论, 提供实验条件下选定变量的最优参数1份
创新意识	实验报告(总结与反思部分)、拓展创新实验	完成总结与反思, 实验报告中至少提出实验收获 <sup>a</sup> 和改进意见 <sup>b</sup> 各1条; (加分项)提供创新实验方案, 积极开展拓展实验

<sup>a</sup> “实验收获” 摘录: (知识目标)掌握了二元金属相图的原理; 掌握了热分析法测量步冷曲线。(能力目标)理解了步冷曲线出现拐点的原因; 学会了Origin软件作图; 学会了误差分析。(价值目标)原始数据超多, 眼花缭乱, 很考验耐心和数据处理能力, 小组成员分工合作, 事半功倍; 学会了团队协作完成实验; 了解了金院士的事迹; 了解了我国应用金属相图的历史

<sup>b</sup> “改进意见” 摘录: 建议定期对热电偶进行校正(严谨态度); 绘制相图时, 为什么线性拟合两条固-液线(思辨)? 建议提供更多组分含量的样品(创新); 记录步冷曲线前应控制样品的熔化温度稳定, 否则可能错过第一个温度拐点(反思); 本实验的关键是控制好样品的冷却速率(思辨); 我们小组有过冷现象, 其他小组却没有, 需要研究过冷现象的影响因素(思辨、创新); 开发微信小程序, 扫描识别原始数据, 绘制步冷曲线(创新)

## 2.5 课程思政育人成效

经过几轮蕴含课程思政理念的混合式教学实践, 学生的学习兴趣、主观能动性、思辨能力、创

新意识、科学精神等方面取得了显著的进步,教师在教学手段、课堂氛围、知识广度、思维深度、评价反馈等方面也得到了充分的提升,“教”与“学”相互促进,师生教学相长。

(1) 学生充分发挥主体作用,调动主观能动性,参与在线视频学习、课堂开放讨论、主题辩论、小组合作探究、批判反思、创新实验设计等环节,提升实践、思辨、合作能力,坚定文化自信,塑造正确价值观。

(2) 学生充分激发创新潜能,积极反思,客观评价,“不唯书、不唯上”,敢于提出问题,乐于开展创新实验,学以致用,创造价值。

(3) 教师充分调动教改热情,主动挖掘思政素材、收集学科前沿进展、开发创新实践课题,落实集体备课、教学研讨等途径,丰富课程内容、激发课堂活力、提升教学实效,在强化教学实践的基础上,提高教育教学理论水平,提升课程思政建设的针对性、时效性和感染力。

### 3 总结与展望

本文以物理化学实验中常见的“Pb-Sn二元金属相图”为例,具体阐释了在“认知-学习-实践-反思”过程中有机融入文化自信、家国情怀、科学素养、合作意识和创新意识等思政元素,通过录制教学视频、搭建在线平台、丰富讨论形式(开放话题讨论、“主题辩论”)、引导批判思辨、拓展探究空间、完善反思机制、鼓励创新实验等,开展线上线下混合式教学实践,完成“知识传授-能力培养-价值塑造”的教学目标,促进学生“知其然,知其所以然,知其所以必然”,实现全程育人、全方位育人。

课程思政教学改革至今大致经历了改革期、建设期和发展期,未来在更多专业课程中实施课程思政建设,始终应注意避免“硬融入”“表面化”等现象,要将弘扬中华文明、塑造人文价值、崇尚科学精神等思政理论真正融入教学实践中,在潜移默化中实现立德树人、全面育人。

**致谢:** 感谢上海师范大学化学与材料科学学院课程思政教学研究中心的平台支持。

### 参 考 文 献

- [1] 习近平: 把思想政治工作贯穿教育教学全过程. [2024-09-09]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2016-12/08/c\\_1120082577.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2016-12/08/c_1120082577.htm)
- [2] 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知. [2024-09-09]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603\\_462437.html?eqid=b04748c500024fb100000036447884a](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html?eqid=b04748c500024fb100000036447884a)
- [3] 王旭珍, 王新平, 王新葵, 田福平, 田东旭, 陈冰冰. 大学化学, 2019, 34 (11), 77.
- [4] 候雨佳, 王秀英, 贾能勤. 大学化学, 2023, 38 (8), 44.
- [5] 张树永, 朱亚先, 张文清, 王玉枝, 陆靖. 大学化学, 2024, 39 (2), 1.
- [6] 贾能勤, 王秀英, 黄楚森. 物理化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2017; pp. 32-34.
- [7] 芦天亮, 周利鹏, 杨晓梅. 广东化工, 2018, 45 (11), 270.
- [8] 陶伟桐. 新型金属相图测定仪的研制及其控制方法的研究[硕士学位论文]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- [9] 张芬芬. 基于化PLC和MCGS技术的新型金属相图仪的研制[硕士学位论文]. 西安: 陕西师范大学, 2015.
- [10] 张杰. 安徽化工, 2017, 43 (6), 123.
- [11] 李将渊, 王文彬, 李文元, 刘赵荣, 蔡铎昌. 计算机与应用化学, 2005, 22 (8), 623.
- [12] 薛莉, 孙秀玉, 成英之, 庄淑娟, 周子彦, 糕淑萍. 山东化工, 2020, 49 (19), 107.
- [13] 程敬泉. 广州化工, 2020, 48 (4), 111.
- [14] 李代刚, 周科际. 湘潮, 2004, No. 5, 43.
- [15] 梁莹, 丁锦屏. 当代广西, 2012, No. 21, 41.
- [16] 蔡铎昌. 四川师范学院学报, 1989, 10 (1), 90.