

## 物理化学中课程思政引领下的双线P-BOPPPS-E教学法探索

周文\*, 周晖, 谢晨, 范曲立

南京邮电大学材料科学与工程学院, 南京 210023

**摘要:** 针对当前物理化学教学中存在的诸多问题, 本文以物理化学中“电解质溶液的电导”这一教学内容为例, 提出了一种基于教学目标导向、以学生为中心的教学改革策略。通过拓展传统的“课前预习、课堂讲授、课后作业”模式, 结合课程思政理念, 引入双线P-BOPPPS-E教学模式, 并采用过程性考核评价方案对教学效果进行系统性量化评估。该教学体系旨在激发学生的学习主动性, 全面提升学生的“知识-能力-素质”三位一体的综合能力, 为物理化学教学改革提供有效的理论支持和实践指导。

**关键词:** 物理化学; 课程思政; 双线; P-BOPPPS-E

**中图分类号:** G64; O6

## Exploration of a Dual-Line P-BOPPPS-E Teaching Approach Guided by Curriculum-Based Ideological and Political Education in Physical Chemistry

Wen Zhou\*, Hui Zhou, Chen Xie, Quli Fan

School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China.

**Abstract:** Addressing current challenges in physical chemistry instruction, this study proposes a goal-oriented, student-centered pedagogical reform strategy using the “Conductance of Electrolytic Solutions” topic in electrochemistry as a case study. The conventional “pre-class preparation, in-class lecture, and post-class assignment” framework has been expanded through the integration of ideological and political education principles, resulting in the development of a dual-line P-BOPPPS-E teaching model. A process-based assessment scheme was implemented to systematically evaluate teaching effectiveness through quantitative measures. This instructional system is designed to enhance student engagement while holistically developing students’ integrated competencies in knowledge acquisition, skill development, and quality cultivation, thereby providing both theoretical foundations and practical guidance for physical chemistry education reform.

**Key Words:** Physical chemistry; Ideological and political education; Dual-line; P-BOPPPS-E

课程思政对于回答高校培养什么样的人才、如何培养人才以及为谁培养人才这一根本问题十分重要。目前的课程思政要求将思想政治教育与专业课程相结合, 通过教师引导学生关注科学研究对社会的影响, 增强他们的社会责任感和使命感<sup>[1]</sup>。然而, 目前物理化学教学在课程思政的落实过程中仍然存在问题, 如教学内容和思政教育之间的割裂现象普遍存在, 导致学生对思政元素缺乏深层

收稿: 2024-12-11; 录用: 2025-02-21; 网络发表: 2025-06-03

\*通讯作者, Email: iamwzhou@njupt.edu.cn

基金资助: 国家自然科学基金青年项目(222051115); 国家自然科学基金面上项目(22174070)

次的思考。此外，物理化学理论知识体系复杂性较高，传统的教学往往以教师为中心进行理论知识的传授，而学生仅能被动接受。这种模式虽然在短期内能够覆盖大量内容，但是学生学习兴趣不高，互动性和参与感不足，致使学生缺乏主动学习的动力。这些问题制约了学生对物理化学的深入理解，缺乏对学生思维能力和综合素质的培养，亟需教学改革。

随着信息技术的迅猛发展，教育领域逐渐向线上线下混合式教学模式转型<sup>[2-4]</sup>。结合传统教学存在的问题，我们进行了课程思政理念指导下的双线P-BOPPPS-E教学模式改革探索<sup>[5-8]</sup>，以学生为中心，激发学生的学习兴趣，实现对学生“知识-能力-素质”的培养目标。本文以物理化学电化学部分“电解质溶液的电导”教学内容为例，介绍我们在物理化学教学方面进行的课程改革探索。

## 1 课程思政理念下双线P-BOPPPS-E教学模式与传统教学法对比

BOPPPS教学模式是一种以教学目标为导向、以学生为中心的新型教学方法。其名称来源于六个教学环节英文单词的首字母，包括：导入(Bridge-in)、学习目标(Objective)、前测(Pre-assessment)、参与式学习(Participatory Learning)、后测(Post-assessment)和总结(Summary)。这种模式强调通过清晰的教学目标引导学生参与学习，鼓励互动和实践，增强学习效果，并且通过前测和后测评估学生的学习进展<sup>[9-11]</sup>。在实际的教学实施中，我们优化了BOPPPS教学模式，增加了课前预习(Pre-class preparation)和课后延伸(Extension)两个环节(图1)。在课前预习阶段，教师通过雨课堂将学习材料发送给学生，学生可在课下自主进行线上学习。教师通过分析学生的预习情况，了解他们的学习准备，从而针对性地调整课堂教学设计。同时，我们还在教学设计中有机融入课程思政的内容，力求达到对学生“润物细无声”的素质培养。此外，通过雨课堂平台进行课中测试和课后拓展活动，相比传统教学模式，这种方式鼓励学生互动与主动学习，有助于更好地理解物理化学理论知识，并为实际应用奠定基础。结合线上资源与线下教学，双线P-BOPPPS-E教学法旨在提升学生兴趣、知识运用能力和社会责任感，注重培养综合能力，而非仅限于理论知识的传授。

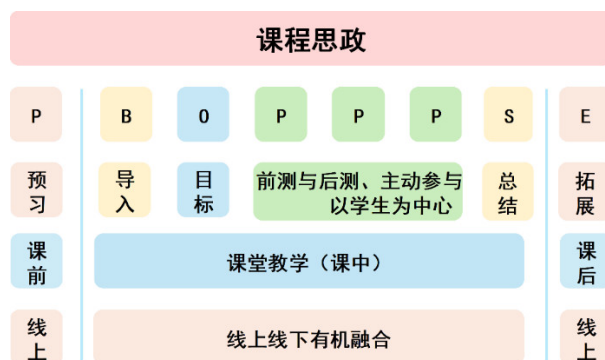


图1 课程思政理念下双线P-BOPPPS-E教学法探索

## 2 课程思政引领下双线P-BOPPPS-E教学设计具体实践

思政教育的目标不仅是知识的传授，还包括培养学生的政治思想素质，最终实现人的全面发展。在物理化学教学中，选择适当的知识切入点，并运用合适的方法引入与知识内容相匹配的思政元素，可以有效激发学生的学习兴趣，帮助他们更好地掌握知识并提升素质能力，从而实现对学生的知识、能力和素质的培养。为了实现这一目标，教学过程应从以下三个方面进行设计：“如何有效传授基础知识、如何培养学生的能力，以及如何潜移默化地塑造他们的素质。”线上和线下环节通过启发式、渗透式和讨论式等教学手段进行自主或引导性学习，并且充分发掘课程思政育人内涵，提升学生综合素质。下面以教学内容“电解质溶液的电导”为例进行说明，将课程思政元素有机融合在教学设计的各个环节(表1)，双线P-BOPPPS-E教学设计见表2。

表1 课程中的思政元素案例

课程内容	思政教学案例	思政元素
课前先导认知环节	视频了解我国动力电池的发展简史和全球份额	培养学生奋起直追和艰苦奋斗的精神，培养学生的民族自豪感和责任感
新课程导入	引入固态电池目前存在的瓶颈	强调科学创新的突破点，激励学生投身于科学研究和创新
参与式学习——电导、电导率和摩尔电导率	讨论为什么要引入电导、电导率和摩尔电导率。在不同的条件下，使用不同的物理量来比较电解质溶液的导电能力	讨论科研工作者在实验中的严谨态度，引导学生认识到科学精神的重要性
参与式学习——强弱电解质的极限摩尔电导率	解决弱电解质极限摩尔电导率的科学实验方法和科学思想	强调通过实验数据来验证理论，培养学生的科学探究精神
课后拓展	学生查阅并总结关于固态电池中电解质材料电导特性的最新研究进展	强调科研工作者在电池技术等前沿领域的突破，是通过无数次实验积累而来的

## 2.1 课前预习(P)

上课前三天，发布自学视频“动力电池产业为何能飞速发展？”和清华大学“物理化学”慕课资源至雨课堂班级群。让学生了解中国汽车电池的发展史：面对困境，国家对动力电池研发的投入和科学家不畏艰难和不断创新的精神，最终实现我国2023年动力电池在全球份额超过60%。培养学生的民族自豪感和社会责任。由于电池中需要电解质溶液参与导电，因此对电解质溶液导电能力的学习具有十分重要的意义。将学习内容与实际结合引发学生的学习兴趣，设置问题：“电解质溶液是依靠什么进行导电？”这一问题既可以复习学生之前学过的基础知识，又可以启发学生思考新的内容，起到承上启下的作用。进一步在雨课堂设置问题：电解质溶液的导电能力可以使用什么物理量来衡量，这些物理量怎么测量，如何计算？如何影响电池的性能？激发学生的兴趣，为课堂教学做铺垫。

## 2.2 课堂教学设计(双线P-BOPPPS-E)

### 2.2.1 新课程导入(B)

这一环节的主要目的是通过目前的研究前沿和生产实际引起学生的思考，同时导入本次课的学习内容。在课程中，向同学们介绍科学前沿，引入问题——为什么要研究固态电池，让学生进行简要思考并回答，教师总结并给出固态电池能颠覆现有电池体系的三大主要原因：(1) 安全性更高；(2) 能量密度天花板更高；(3) 循环寿命更久(图2)。固态电池性能优势显著，但实用性和产业化任重道远，目前存在的巨大挑战之一是离子运输涉及到的固态电解质离子电导率低，限制充放电速率。通过以上介绍引入本次课程的学习内容，什么是电导率？结合新能源技术应用挑战，强调科学创新的突破点是提高固态电解质的离子电导率，激励他们投身于科学创新研究。

### 2.2.2 课程目标(O)

课程导入环节之后，教师直接将教学目标展示在PPT中，同时阐明本节课的学习目标。明确学习目标，可以帮助学生对重难点内容的掌握，更有利于提升学习效果。在“课程思政”理念的指导下，将原有的课程目标进行优化，并将知识目标、能力目标和素质目标明确指出，具体目标如下：

(1) 知识目标：掌握电导率、摩尔电导率的含义及它们与溶液浓度的关系；了解电导的测定；熟悉离子独立移动定律。

(2) 能力目标：通过对电解质溶液电导的学习，学会应用电导相关内容解决问题，培养综合能力。

(3) 素质目标：培养学生具有开拓的思路、创新精神、民族自豪感和责任感。

### 2.2.3 参与式学习——前测(P)

利用雨课堂进行测试是一种有效的教学方式，常见的测试形式包括简单的问答题和选择题，能

表2 “电解质溶液的导电”一课双线P-BOPPPS-E教学模式

课程阶段		师生活动	课程设计
课前预习(P)		(1) 线上自主观看视频“动力电池产业为何能飞速发展？” (2) 观看清华大学的物理化学网络课程“电解质溶液的导电” (3) 雨课堂完成预习自测	线上学习，激发学生进行自主学习
课堂 教学 参 与 式 学 习	课程引入(B)	【教师讲解】简单介绍电解质溶液导电能力受哪些因素影响 导入新课程：固态电池目前需要解决的问题	将所学习内容与科学前沿结合，激发学生自主学习主动性
	课程目标(O)	【目标】明确本节课学习目标和要求	明确学习目标，给出重难点内容，有利于学生提升学习效果
	参与式学习	【前测】随机抽查若干学生回答问题，其余同学纠错改正 (1) 电解质溶液的导电能力可以用什么物理量来衡量？ (2) 电解质溶液的电导公式说明什么？ (3) 电解质溶液的电导怎么进行测量？	检查线上预习情况
		【参与式学习】教师通过问题引导讲解知识点，并且结合随堂测试和例题讨论讲解 【启发式问答、问题引导和随堂测试】 (1) 电导，电导率，摩尔电导率的物理意义？与浓度有什么关系？雨课堂给出随堂测试选择题 (2) 电导如何测定？如何根据电导得到其他物理量？给出题目，让学生分组讨论，随后教师讲解例题 (3) 在特别稀的溶液中，强弱电解质的极限摩尔电导率如何通过摩尔电导率得到？雨课堂随堂练习 (4) 离子独立移动定律是什么？雨课堂给出相关内容的随堂测试	(1) 以学生为中心，通过启发式问答和问题引导，让学生思考问题，进行高效学习 (2) 例题分组讨论，让学生充分参与到学习过程，提升对知识点的掌握 (3) 雨课堂随堂测试可以实时掌握学生对知识点的掌握情况，可以根据学生的答题，对知识点进行适当的讲解和拓展
总结	【后测】使用雨课堂给出综合测试题，关于电导、电导率、摩尔电导率、离子独立移动定律及电导测定等重难点知识，并让学生讨论。另外，引导学生思考讨论课堂导入时的问题，即如何通过本次课程学习的知识理解电解质导电能力的影响因素 【总结】教师引导学生进行总结，概括本节课知识点，突出重难点。引入下一节课的学习内容	进一步强化学生对本节课知识点的理解以及综合运用能力 学生参与总结本课重难点，完善知识体系	
课后拓展		【课后作业】发布2道选择题、2道简答题，涉及电导、电导率、极限摩尔电导率相关知识点 【思维导图】根据课程内容，绘制思维导图上传至雨课堂，重难点突出，逻辑清晰 【文献阅读】电池相关领域的科学前沿文献阅读，固态电池有何新突破？	(1) 课后作业，帮助学生理解所学内容 (2) 绘制思维导图，实现学生对课程内容的复盘，巩固所学知识 (3) 文献阅读，拓宽视野，将所学内容与科学前沿进行衔接，且与实际应用相结合

够迅速评估学生对预习材料和所学内容的掌握情况。根据雨课堂的测试反馈，教师能够及时识别学生的知识盲点或理解误区，从而调整课堂讲解的深度和进度。这种反馈机制不仅能帮助学生回顾和巩固所学内容，还为接下来的学习提供坚实的基础。通过这种灵活的教学方法，教师可以确保每位学生在知识掌握的层次上保持同步，提高教学效果。

本课程中，教师通过在雨课堂平台发布一道问答题进行前测，问题设置：电解质溶液的导电能力和什么因素相关？雨课堂数据显示，通过所学习的内容，大部分学生可以给出多个影响因素——

电解质的浓度、电解质的种类、温度、离子的迁移率、溶剂的性质等。综上所述，电解质溶液的导电能力是由多个因素共同作用的结果，那么可以用什么样的物理量来衡量溶液的导电能力？此外，通过课堂问答，了解学生的预习情况，设置问题(表2)，可以根据学生回答的情况适当调整课程的讲解深度和进度。

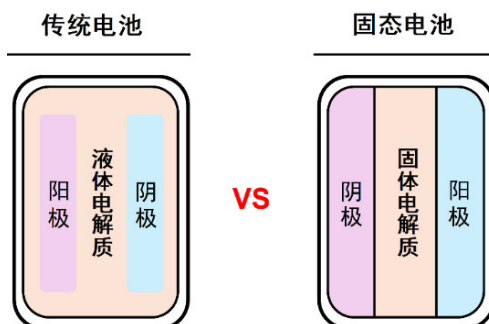


图2 传统电池与固态电池结构对比

#### 2.2.4 参与式学习(P)

这部分内容是课堂教学的核心环节，旨在通过多样化的教学手段和教学资源，激发学生的学习兴趣，提升学生的参与度，从而有效提高学习效率，最终实现教学目标。在这一过程中，教师根据教学内容的特点和学生的学习需求，灵活运用不同的教学方法。例如，教师可以通过启发式提问、案例分析、小组讨论等方式，促使学生主动思考，深入理解知识点。同时，结合现代化教学工具，增强课堂互动性，帮助学生在课堂上主动学习和应用知识。通过这种互动与参与的方式，教师不仅能够帮助学生建立扎实的知识基础，还能激发学生的自主学习动力，进而提高整体学习效果和课堂效率。

在本课程中，将启发式问答与讨论相结合，依照“引入问题→激发思考→学生回答与讨论→教师总结与引导→深化与拓展”的教学思路开展电导概念的教学。学生知道电阻的大小反映了物质对电流的阻碍能力，接下来引入问题：在电解质溶液中，传导电流的能力如何衡量？为了让学生更容易理解这一点，可以将电阻的概念与电解质溶液的导电性进行类比。电解质溶液中的电导(而非电阻)是衡量其传导电流能力的标准。引发学生思考电导是什么，与长度和截面积有什么关系？让学生进行讨论并参与课堂问答。教师对学生的回答进行总结，电导是电阻的倒数，与截面积成正比并且与长度成反比。教师进行深化与拓展，在电解质溶液中，电流的传输并不是通过电子，而是通过离子来实现的。因此，电解质溶液的导电能力不仅取决于溶液中离子的数量，还与离子在溶液中的迁移率以及溶液的温度、浓度等因素密切相关。通过启发学生思考电解质溶液导电能力的衡量标准，介绍电导这一基本概念，再引出电导率和摩尔电导率及其物理意义。这样的教学顺序有助于学生逐步理解导电能力的不同层面，并掌握相应的物理量。

物理化学中大多数物理量，我们不仅要学习怎么计算，更要学习如何进行测量，引导学生理解实践是检验真理的唯一标准。本次课程中，采用回顾法与案例讲解结合的方式进行教学。引入工业上的水质检测案例进行问题设置：“在半导体工业上，水的纯净程度会直接影响实验结果，那么应该如何进行水质的检测”。教师引导学生回顾电阻测定的方法，以及电导和电阻的关系，通过图示法讲解电解质溶液电导的测定原理和测定装置。随后，教师给出例题，要求学生解决如何通过测定电导来计算电导率和摩尔电导率，学生参与讨论提供解题思路，教师进行讲解与总结。最后，教师回答水质检测是通过测定水的电导得到电导率值，进而判断水的纯净程度。通过具体的问题帮助学生深入理解电解质溶液电导率的实际生产应用。

为了帮助学生更好地理解电解质溶液的电导率和摩尔电导率如何随溶液浓度变化，可以通过图

示法进行分析并提出相关的引导性问题。通过PPT展示电导率、摩尔电导率和溶液浓度的关系图，教师引导学生进行不同电解质的分类讨论并得出结论：电解质溶液的电导率及摩尔电导率均随溶液的浓度而变化，但强、弱电解质的变化规律却不尽相同。提问：“为什么强电解质的电导率、摩尔电导率变化和弱电解质不同？大家能解释其中的物理原理吗？”这样可以引导学生通过思考物质的导电离子的不同来理解不同电解质的导电能力变化。结合本知识点给出相应线上习题，提高学生的参与度，考查学生对此知识点的掌握情况。

根据强电解质和弱电解质随浓度变化的规律，教师给出问题：强弱电解质随浓度变化具体是什么规律，让学生参与讨论。教师通过图示法讲解强电解质的极限摩尔电导率( $\Lambda_m^\infty$ )，引导学生得到强电解质的 $\Lambda_m^\infty$ 可以使用外推法求出的结论。在学习弱电解质摩尔电导率随浓度变化的规律时，教师引导学生通过观察并分析摩尔电导率 $\Lambda_m$ 与浓度 $c$ 的关系曲线，得出以下结论：弱电解质溶液较稀时，摩尔电导率随浓度变化较大。不同于强电解质，弱电解质无法直接通过外推法确定其极限摩尔电导率，因为弱电解质的解离度随浓度变化显著。教师提出关键性问题：“如何计算弱电解质的极限摩尔电导率？”“极限摩尔电导率的物理意义是什么？”通过这些问题，引发学生深入思考。为了解决上述问题，教师引入柯尔劳施离子独立移动定律，并解释其内涵：溶液无限稀释时，所有电解质都可以视为完全电离，离子之间的相互作用可以忽略，离子在电场作用下的迁移速度仅取决于离子的本性，而与其他共存离子的性质无关。由此可得，弱电解质的极限摩尔电导率等于正、负离子的摩尔电导率的简单加和。教师引导学生查阅课本中极限摩尔电导率数据，验证弱电解质的极限摩尔电导率是否符合上述理论和结论。通过分析课本中实验所得的表格和曲线数据，验证了理论，展现了科学研究从数据分析观察到理论推导再到验证的完整过程，强调了理论与实践结合是科学研究的核心理念。

### 2.2.5 参与式学习——后测(P)

使用雨课堂给出测试题目，分别考查学生对电导、电导率和摩尔电导率概念的理解，以及它们与溶液浓度的关系，离子独立移动定律及电导测定等重难点知识。将测试题目贯穿在每个知识点讲解完之后，了解学生的答题情况，及时灵活地进行讲解、拓展和课程设计调整。另外，教师讲解完所有知识点，引导学生思考讨论课堂导入时的问题，即如何通过本次课程学习的知识理解电解质导电能力的影响因素。

### 2.2.6 课程总结(S)

教师引导学生对本次课程内容进行总结，重点关注电导率和摩尔电导率与浓度的关系，强弱电解质的无限稀释摩尔电导率计算方法；课程难点：电导的测定以及相关计算。并引出下次课的学习内容：我们学习了电解质溶液的电导，具体的应用有哪些？下次课讲解电导的应用。

### 2.3 课后拓展(E)

雨课堂发布课后作业见表2。要求学生结合本次课程的学习内容进行思维导图的制作，以小组为单位，对思维导图的评分作为教学考核的依据之一。为了使所学习的内容与科学研究热点相结合，要求学生查阅关于固态电池中电解质材料电导特性的最新研究进展，并提出自己对未来研究方向的简单见解。

## 3 教学评价和成效分析

教学评价是通过对教学活动进行系统的评估，以了解教学设计、教学过程以及教学效果，从而改进教学质量、促进学生发展、提高教学透明度、优化教育决策并且激励教师专业成长的过程。传统的教学评价模式一般通过作业和考试等手段进行，但忽略了整个教学环节的过程性评价。在改进的教学模式中，我们制定了以学生为中心、以“知识-能力-素质”为指导的多元化教学过程评价体系(图3)。从课前视频观看、课程资源预习和线上答题，到线下教学课堂问答、课堂讨论和课后作业，再到课后思维导图绘制、课后拓展和课程建议，我们将过程性考核落实到课堂的每个环节之中。分析每个环节学生存在的优势和不足之处，对学生的表现进行客观考核；对于学生普遍存在的不足之

处，教师反思并对教学设计和教学过程进行调整。

考核环节	考核项目	考核标准	考核分值	考核权重
课前预习	视频观看	完整观看记录	30	5 %
	课程资源预习	完整观看记录	40	
	线上答题	平台自动打分	30	
课中教学	课堂问答	积极互动	30	10 %
	线上答题	平台自动打分	30	
	课堂讨论	讲解清晰，逻辑性强	40	
课后	思维导图绘制	图文并茂，逻辑清晰	20	15 %
	课后作业	思路清晰，答案正确	30	
	课后拓展	查阅相关文献并阅读，提出见解	40	
	课程建议	积极参与课程反馈并给出建议	10	
期中考试	纸质闭卷			20 %
期末考试	纸质闭卷			50 %

图3 过程性考核评价细则和课程评价方案

物理化学(下)是高分子材料专业的必修课程，课程为2学分，授课时长为48学时。经2024–2025第一学期课程思政理念下“双线P-BOPPPS-E”教学实践的探索，我们分别从学生的成绩分析、学生的课堂表现以及给学生发放问卷等方式，从多个维度来考察课程改革取得的成效。鉴于成绩是较为直观的衡量指标，考虑到现实教学中很难通过设立平行班的方式比较教学成效，我们采取了纵向的方式进行成绩对比，即对学生进行不同时间点的阶段性测试，追踪学生考试成绩的差异，结果表明：

① 教学改革的考试成绩不合格比例明显下降，考试未合格的学生占比为3.0%，而未改革的考试成绩不合格比例均值为6.0%；② 对教学内容改革后成绩达到良好的学生占比相较于改革前的成绩平均增长了18.2%。

根据学生的课堂表现，教师感受到学生学习的参与度和主动性得到了显著提高。大多数学生通过参与线上答题、课堂答题与讨论、互评等过程，逐步培养了积极思考、持续思考、深入思考的学习习惯，并在课后拓展中不断增强创新意识和创新能力，这一过程对其综合能力的提升起到了积极作用。为了更精确和全面地评估课程改革的实施效果，通过对2024–2025第一学期教学改革的33名学生进行问卷调查。根据问卷调查结果，90.9%的学生基本认同本课程的学习，提升了他们的自主学习能力；66.7%的学生表示课程内容有助于他们学以致用，并能够将所学知识应用于将来的科研及实践活动中；93.9%的学生认为线上平台提供的教学资源对其学习起到了积极的辅助作用，有效增强了学习效果；90.9%的学生认同该课程积极融入课程思政元素，进行世界观价值观的引导，体现了教书育人与立德树人。

#### 4 结语

本文以“电解质的电导”一节为例，系统阐述了在课程思政理念指导下，双线P-BOPPPS-E教学模式在物理化学课程中的具体应用与实践。在教学过程中，通过精准制定教学目标、优化教学内容、

探索有效的教学模式和评价方法，深入挖掘课程中的思政元素，充分彰显了基础核心课程的特点。思政理念与双线P-BOPPPS-E教学模式的有机结合，显著提升了学生的综合素质和学习成效，充分发挥了物理化学课程在思政教育中的作用，实现了思政教育与专业教育的协同发展。该教学模式不仅有效推动了物理化学课程的教学改革，也为高校理工科其他课程的教学创新提供了有益的借鉴与参考。

#### 参 考 文 献

- [1] 张树永. 大学化学, **2019**, *34* (11), 4.
- [2] 阮北, 武克忠. 大学化学, **2025**, *40* (1), 99.
- [3] 杨绳岩, 孟祥珍, 王新, 张杨. 大学化学, **2024**, *39* (11), 28.
- [4] 管玉雷, 赵彬侠. 大学化学, **2023**, *38* (11), 48.
- [5] 梁红莲, 邝晓哲, 王福萍, 陈钰. 大学化学, **2024**, *39* (10), 443.
- [6] 吕洋, 贾颖萍, 李艳华, 钟和香, 王新平. 大学化学, **2024**, *39* (11), 44.
- [7] 杨爽, 王群, 苗彩琴, 耿子奇, 李欣然, 李杨, 吴晓宏. 大学化学, **2024**, *39* (11), 269.
- [8] 赵红梅, 陆自强, 李崧, 李兴玉, 字成庭, 樊兴丽, 秦向东. 大学化学, **2024**, *39* (3), 210.
- [9] 孙博, 周晖, 刘瑞卿, 李美星, 陆峰, 范曲立. 大学化学, **2024**, *39* (12), 40.
- [10] 辜家芳, 许可. 山东化工, **2020**, *17* (49), 164.
- [11] 张书泉, 陈红, 辜家芳. 化工设计通讯, **2020**, *12* (46), 111.