

新工科背景下材料固体物理课程教学改革的探索和实践

颀雨佳*, 刘 叶, 朱裔荣, 陈文昊

湖南工业大学材料科学与工程学院, 湖南 株洲

收稿日期: 2025年10月21日; 录用日期: 2025年11月25日; 发布日期: 2025年12月4日

摘 要

文章立足当前时代背景, 深入剖析了当前固体物理课程教学存在的核心问题。结合近年来国家对高等教育改革, 特别是对交叉学科、产教融合和学生创新能力培养的宏观政策导向, 系统地提出了以“成果导向教育(OBE)”理念为核心, 融合“问题导向学习(PBL)”“课程思政”和“数字化赋能”的“四位一体”教学改革方案。通过教学内容、教学方法、学习方式和考核方式四个维度进行了具体改革实践, 为培养能够引领未来材料科技发展的拔尖创新人才提供有益的参考。

关键词

固体物理, 教学改革, 新工科, 四位一体, 考核方式

Exploration and Practice on the Teaching Reform of Materials Solid State Physics Course under the Background of Emerging Engineering Education

Yujia Xie*, Ye Liu, Yirong Zhu, Wenhao Chen

School of Materials Science and Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan

Received: October 21, 2025; accepted: November 25, 2025; published: December 4, 2025

*通讯作者。

文章引用: 颀雨佳, 刘叶, 朱裔荣, 陈文昊. 新工科背景下材料固体物理课程教学改革的探索和实践[J]. 创新教育研究, 2025, 13(12): 53-60. DOI: 10.12677/ces.2025.1312932

Abstract

Based on the contemporary educational context, this paper conducts an in-depth analysis of the core issues prevalent in the current teaching of *Solid State Physics*. In alignment with recent national policy directives for higher education reform, which particularly emphasize interdisciplinary studies, industry-education integration, and the cultivation of students' innovative capabilities, it systematically proposes a "four-in-one" teaching reform framework. Centered on the principle of Outcome-Based Education (OBE), this framework integrates Problem-Based Learning (PBL), ideological and political education in courses, and digital empowerment. Specific reform practices have been implemented across four dimensions: teaching content, instructional methods, learning approaches, and assessment mechanisms. This initiative is expected to provide valuable insights for cultivating top-notch innovative talents capable of leading future advancements in materials science and technology.

Keywords

Solid State Physics, Teaching Reform, Emerging Engineering Education, Four in One Integrated, Assessment Method

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

材料固体物理是新能源材料与器件专业的核心基础课程，作为一门研究固体材料的微观结构、粒子运动规律及其宏观物理性质的学科，是连接量子力学、热力学统计物理等基础物理理论与材料科学实际应用的桥梁[1]。对于新能源材料与器件专业的本科生而言，学好这门课程对理解材料的结构与性能关系、进行新能源材料设计与开发、开展前沿科学研究奠定理论基石。长期以来，我国高校普遍沿用以黄昆、韩汝琦等经典教材为蓝本的教学体系，为国家培养了大量坚实的材料领域人才，其历史功绩不容忽视。

依据国家连续发布的关于一流本科课程建设、“四新”(新工科、新医科、新农科、新文科)建设、深化产教融合以及全面推进“课程思政”等一系列指导性文件，发现高等教育改革的宏观方向已从“以教师为中心”转向“以学生为中心”，从“知识传授”转向“能力培养”，从“学科壁垒”转向“交叉融合”[2]-[4]。

在“新工科”教育迭代跃升的新一轮高等教育改革浪潮下，传统的固体物理教学模式在教学内容、教学方法、考核方式等方面暴露出诸多不足，难以满足新时代对创新型、复合型材料人才的培养需求。其高度抽象的理论体系、依赖数学推导的教学过程及与现代材料科技前沿相对脱节的教学内容，且本专业高考招生生源为“3+1+2”或“3+3”考试模式，学生的能力差异明显，常常会导致学生对课程学习产生“畏难”“枯燥”“无用”等负面情绪，学习主动性不足，知识迁移和应用能力薄弱。因此，对材料固体物理课程进行系统性、深层次的教学改革，使其与新工科和人工智能人才培养目标同频共振，不仅是提升教学质量的内在要求，更是服务国家重大战略、培养未来材料领域领军人才的时代使命。本文将

围绕当前教学中存在的不足，系统探讨课程教学的不足、改革的思路、实践方案与未来展望。

2. 课程教学存在的普遍性不足

在长期的教学实践和同行交流中，我们注意到材料固体物理课程普遍存在以下四个方面的核心问题，其问题相互关联，共同构成了课程改革需要攻克的壁垒。

2.1. 教学内容：经典有余，前沿不足

目前的教学大纲和授课内容，大多仍依据上世纪中后期建立的理论框架，重点集中于晶体结构、能带理论、晶格振动等经典模块。内容依然是材料学科基石，但伴随着近年来材料固体物理与材料科学领域的飞速发展，如石墨烯、类石墨烯的其他材料包括六方氮化硼(*h*-BN)、黑磷(BP)、石墨相氮化碳(g-C₃N₄)、过渡金属硫化物(TMDs)、层状化合物或金属氮氧化物复合二维材料(MXene)，金属有机骨架材料(MOFs)、共价有机骨架材料(COFs)、钙钛矿电池材料等的飞速发展，课程内容的更新严重滞后。这种“刻舟求剑”式的教学，使得学生所学与科研前沿、产业热点之间存在巨大鸿沟，难以激发其探索未知的科学热情，也难为其将来从事高精尖研发工作提供充足的知识储备。

2.2. 教学方法：灌输为主，互动不够

课程受制于理论性强、公式推导复杂的特点，“教师讲、学生听”的“满堂灌”模式仍是主流教法。教师在讲台上进行高密度和高强度的信息输出，从晶体对称性到倒格子，再到薛定谔方程在周期势场中的解，整个过程逻辑严密但节奏紧张，留给学生思考、提问和讨论的空间极为有限。这种单向填鸭式的知识传递，容易导致学生陷入被动接收的状态，局限于对公式的记忆和推导的模仿，而缺乏对物理图像的深刻理解和批判性思维的培养。学生的“学”完全被教师的“教”所主导，主动构建知识体系的能力受到压抑。

2.3. 学习方式：被动接受，学用脱节

与教学方法相对应，学生的学习方式也呈现出明显的被动性。学生习惯于课上记笔记、课下做习题，学习目标往往倾向于“应付考试”。对于能带理论为何能解释金属、半导体和绝缘体的区别，其背后的本质内涵是什么？紧束缚近似和近自由电子近似与布洛赫函数的联系？布洛赫定理的深刻物理意义？这些核心问题，学生可能仅会套用概念和公式，却难用通俗易懂的语言进行清晰的阐释，更遑论将其应用于阐释其专业中所涉及的光、电、声、磁、热等性质。知识的学习停留在了“知其然”的浅表层面，远未达到“知其所以然”的深度理解和“知其所以必然”的灵活应用深度。

2.4. 考核方式：一张试卷，评价固化

传统的固体物理课程考核方式典型弊端是“期末一张卷，考倒一大片”，且期末闭卷考试成绩在总评中占比高达 70%以上。其问题是：首先，它主要考察学生对基本概念、公式和定理的掌握，侧重于记忆与再现能力，难以评估其解决复杂问题的能力、调研文献能力、团队协作能力和学术表达能力。其次，单一的考试评价忽视了每一位学生在学习过程中的努力付出、进步与闪光点，容易引发学生的应试倾向，导致“考前抱佛脚、考后全忘光”的真实写照。其评价体系与新工科所倡导的“能力本位”“过程导向”的评价理念背道而驰。

3. “四位一体”的教学改革思路

针对面临的上述问题，进行系统性的教学改革是非常有必要的。我们以“成果导向教育(OBE)”理念

为顶层设计，将“问题导向学习(PBL)”“课程思政”元素和“数字化教学”手段深度融合构成“四位一体”教学改革框架(见图1所示)。将前沿材料(如二维材料、半导体材料、新能源材料等)与课程思政元素进行有机融入，重构与时代同频的课程内容体系；采用翻转课堂、对分教学、案例教学、虚拟仿真等多元化教学手段，创新以学生为中心的混合式教学模式。

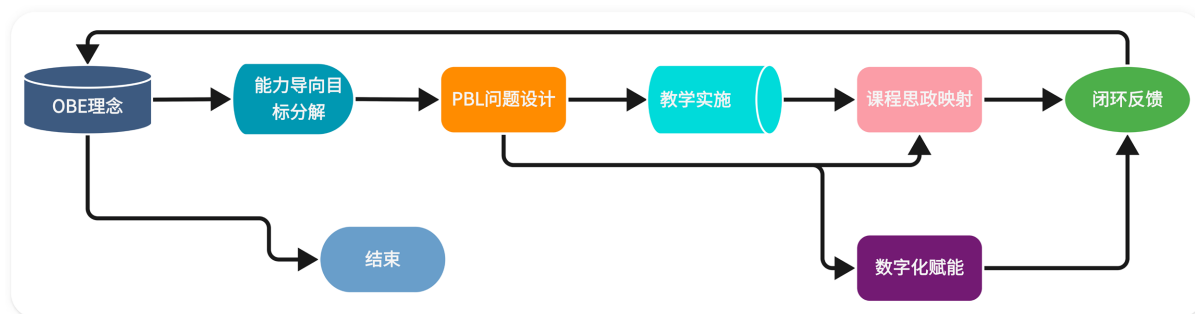


Figure 1. The “Four-in-One” teaching reform framework

图1. “四位一体”教学改革框架

3.1. 以“成果导向教育(OBE)”为核心，重塑课程目标

改革的出发点是明确“培养目标”。我们首先要反向设计课程的预期学习成果。这些成果不应仅仅是掌握“能带论理论”、理解“布里渊区概念”，而应是更高阶的能力目标。如，知识层面：能够运用固体物理核心原理解释典型材料(如电池、半导体、光伏等)的基本物理性能。能力层面：能够查阅调研相关文献，并针对一种新型材料(如钙钛矿、ZnO、MoS₂等)，分析其晶体结构与能带结构，并初步评述其潜在应用。能够利用 Materials Project, Crystallography Open Database, Materials Cloud 等数据库[5]或至少使用一种计算模拟软件[6]-[8](如 Materials Studio, VASP 的入门)进行简单的能带结构计算与分析。素质层面：能够领略到周期性的简洁之美与对称性思想的普适性，培养严谨求实的科学精神和敢于质疑的创新意识，并了解中国科学家在固体物理领域的贡献，增强民族自豪感。所有后续的教学内容选择、教学活动设计和考核方式改革，都必须围绕这些具体的、可衡量的学习成果来展开。

3.2. 以“问题导向学习(PBL)”为动力，驱动主动探究

改变“填鸭式”教学的关键在于变“给予答案结果”为“引导过程探索”，PBL 模式就是最佳的载体。我们可以设计一系列贯穿课程始终的问题或挑战性项目，如：“为什么硅是信息时代的基石？我们能否找到比硅更优越的半导体材料？”“从现有理论看，如何设计一种动力、消费或储能型的电池材料？挑战和机遇在哪里？”“请从固体物理角度提出设计思路，为显示器件开发一种高效的蓝色发光材料。”通过问题将课程知识点串并联起来，学生以团队的形式，查阅资料、讨论、报告等方式，自主地学习和应用知识，从而将学习过程转变为一个主动的、探索的研究学习过程。

3.3. 以“课程思政”为灵魂，厚植爱国情怀与科学精神

挖掘材料固体物理课程中所蕴含的课程思政元素并进行有机融入课程，实现“价值引领、知识传授、能力培养”的有机统一。科学精神：讲晶体结构时，讲述晶体材料全国重点实验室团队成员实现多项从“0”到“1”的突破，充分发扬“十年磨一剑、甘坐冷板凳”的科学家精神；讲解晶体衍射时，讲述布拉格父子精诚合作、勇于探索的科学家精神。工匠精神：将晶体生长、半导体制造等工艺与固体物理理论相结合，让学生理解理论对精密制造的指导意义，体会精益求精的“大国工匠”精神。家国情怀：介

绍我国在半导体、芯片、稀土永磁材料、高温超导等领域的重大成就和代表人物，分析关键材料“卡脖子”问题背后的挑战，激发学生为国攻关的使命感。

3.4. 以“数字化教学”为羽翼，赋能教与学

利用现代信息技术，可以极大地丰富教学手段，突破传统课堂的时空限制。建设在线资源库：建立核心概念的微课视频，供学生课前预习或课后复习(翻转课堂)；整理前沿文献、科普视频、在线仿真工具等学习资源。引入虚拟仿真实验：对材料固体物理课程中抽象的宏观不可见、实验条件要求高的内容(如观察周期性、对称性、FCC、HCP、倒格子、布里渊区等)，利用虚拟仿真软件可提供直观、可交互的学习体验，帮助学生建立直观具象化的图像。利用智慧教学工具：在课堂上使用学习通、雨课堂等工具进行随机提问、匿名投票、弹幕互动，线上和线下的联动，实时掌握学生学习情况，增强课堂参与感。对每个学生的学情能做到心中有数，进一步推动因材施教。

4. 课程教学改革的具体实践路径

在上述总体思路指导下，我们可以从教学内容、教学方法、学习方式和考核方式四个维度，开展具体的改革实践。

4.1. 教学内容重构：经典与前沿并重，知识与价值融合

模块化重组：将课程内容重构为“基础理论”“核心应用”和“前沿探索”三大模块。“基础理论”模块夯实晶体学、能带论、晶格振动等核心知识。“核心应用”模块则以专题形式，深入讲解晶格振动、电子论、能带论等与材料专业紧密相关的内容，并结合具体材料实例。“前沿探索”模块则以探讨形式，引入专业相关最新研究热点。案例式串联：改变纯粹按章节罗列知识点的线性结构，采用案例驱动。如，以“光伏器件工作原理——光伏效应”为案例，串联起能带、本征和非本征半导体、PN结、电子-空穴对等知识点。思政元素“盐入汤”：思政元素以春风化雨般地融入教学过程，而非生硬地“贴标签”。如，在讲到晶体的对称性时，可由文化中的对称，中国人崇尚的美学，从建筑到服饰，从形式到思想，展现对称的美和哲学思想，培养学生的文化自信；在讲到能带理论，电子论时，强调其科学家智慧结晶承前启后的重要性，体现了科学的传承与发展，培养学生的科学史观。从晶体结构中的理想模型到实际材料(晶体缺陷)的应用价值，如，理想完美的单晶硅与杂质缺陷的P和N型半导体，通过对比分析，引导学生跳出“非黑即白”的线性思维，理解“完美”与“缺陷”的相对性，培养其辩证眼光看待科学问题的能力。在科学研究中，没有绝对的“完美”，只有“契合目标的最优解”。

4.2. 教学方法创新：从“独奏”到“交响乐”

实施“翻转课堂”：对于理论性强、推导复杂的部分(如晶格振动、近自由电子近似等)，让学生课前观看优质的教学视频。课堂时间则采用对分方式，用于答疑解惑、分组讨论和项目研讨，将课堂打造为思维火花碰撞的海洋。推动“案例教学”与“研讨式学习”：每3~4周设置一个研讨主题，学生分组查阅文献制作PPT或制作章节内容思维导图，在课堂上进行报告和交流，教师进行引导和点评。既能有效锻炼学生的文献检索、归纳总结、团队协作和口头表达能力，又能灵活应用课程的知识内容，进一步促进学生的主动学习能力。引入“模拟”计算：一方面，调研文献，掌握研究动态和未来的挑战，更好把握专业领域内的研究重点，潜在的研究机遇与挑战。另一方面，利用VASP、Quantum Espresso等计算软件，让学生动手计算简单晶体(如金刚石、硅、铜)的能带结构，态密度等，直观理解相关理论知识，并结合所学知识进行阐释。

4.3. 学习方式引导：从“被动海绵”到“主动引擎”

组建学习团队：在课程伊始时就鼓励学生自由组队，组成学习共同体。PBL 项目、研讨任务都以团队形式完成，通过同伴激励和协作，促进有深度的自主学习。鼓励“讨论交流”：鼓励学生分享讨论学习笔记与经验、问题清单等。这不仅是过程性考核的依据，更有助于学生进行学习反思和同学之间的相互启迪。引导科研入门：鼓励有志从事科研的学生，在课程学习的基础上，联络本专业的教师，参与到课题组的科研项目，将课程学习与真实的科研相结合，推动“学研一体”良性发展。

4.4. 考核体系改革：从“单一”到“多元化构建”

改革考核方式是撬动整个教学改革的关键支点。设计兼顾过程与结果、能力与知识的多元化考核体系，旨在激发学生“以学为主”的主动学习兴趣与创新思维。改革前的考核评价体系为期末考试成绩(70%)和平时成绩(30%)，改革后由期末考试成绩(40%)和平时成绩(60%)两大部分组成(见图 2 所示)，平时成绩包括章节任务点完成度(35%)、作业(20%)、分组任务 PBL (30%)、考勤(5%)、讨论(5%)和互动测验(5%)六个维度，全面覆盖学生学习的各个环节，更注重过程评价与结果评价相结合、定量评价与定性评价相结合、个体评价与团队评价相结合。改变“一考定终身”的状况，将总成绩的构成多元化。

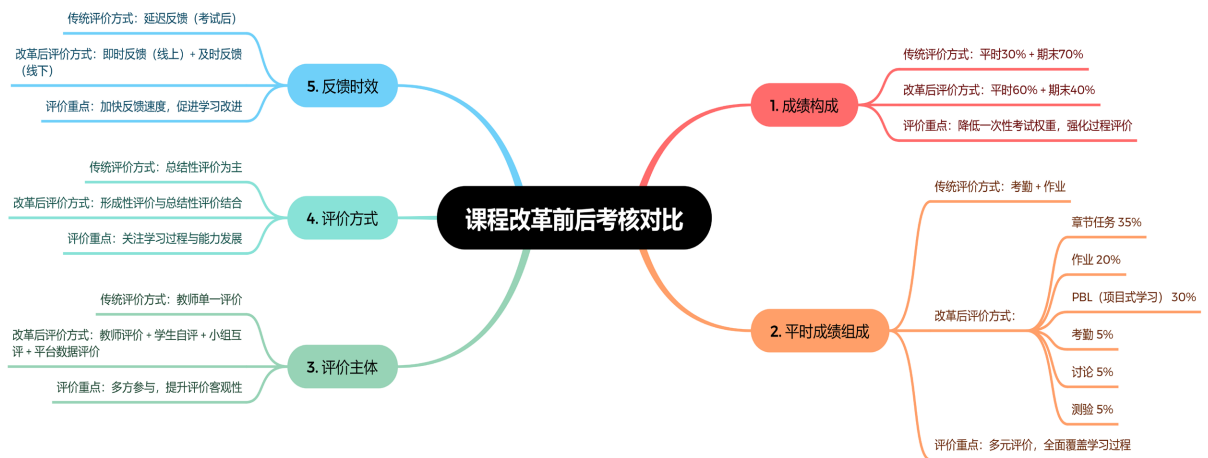


Figure 2. Comparison of the assessment and evaluation system before and after the reform of the Materials Solid State Physics course

图 2. 材料固体物理课程改革前后考核评价体系对比

通过考核评价体系的改革创新，材料固体物理课程实现了从“重结果轻过程”向“过程结果并重”、从“单一评价”向“多维度评价”的转变，可有效激发学生的学习动力和创新潜能。

5. 教学成效分析

2022~2023 学年，总评成绩构成采用“期末考试 70%+ 平时成绩 30%”的比例，其中平时成绩考核维度较为单一。2024~2025 学年对评价体系进行优化，调整为“期末考试 40%+ 平时成绩 60%”，提升平时成绩权重(从 30%升至 60%)，更注重学生学习过程的综合表现同时丰富平时成绩的考核维度，实现多维化评价。具体来看，2024 年借助雨课堂平台开展过程性考核，2025 年则采用学习通平台支撑平时成绩的多元评估，进一步完善了综合评价体系。从期末考试(图 3(a))和总评结果(图 3(b))的对比可看出(见图 3 所示)，教学效果方面呈现多维度变化。各年度期末考试维度方面，在高分段 100~90 分，两者各年份占比均极低，说明顶尖学生群体规模稳定但有待拓展。89~80 分段，总评中 2023、2024、2025 年占比显著

高于卷面，反映出过程性评价对该分数段的学生提升作用明显。79~70 分段，卷面中 2023 年占比突出，总评中 2024 年占比跃升，说明不同年度学生在知识掌握和综合评价维度上表现存在差异，2024 年学生在总评环节的综合能力更优。69~60 分段，卷面 2025 年占比最高，总评中 2022 年占比领先，体现出知识卷面掌握与综合素养的发展不同步。59 分以下，卷面 2022 年占比高，总评中各年份占比均低，说明总评对低分段学生的综合表现有一定“修正”，也暗示卷面基础薄弱的学生可通过非卷面因素提升总评。各年度平均分维度方面，总评中 2023、2024、2025 年分数均高于卷面，且 2024、2025 年总评平均分接近满分段，表明近年总评体系对学生综合能力的评价更趋优秀，教学在综合素养培养上成效显著，而卷面成绩虽有提升但仍有进步空间。综上所述，教学成效在保持稳定的同时，也面临学生基础差异、学习主动性等方面的挑战，未来应着重提升高分段学生比例，加强基础薄弱学生的辅导，并持续优化教学方法与管理策略。

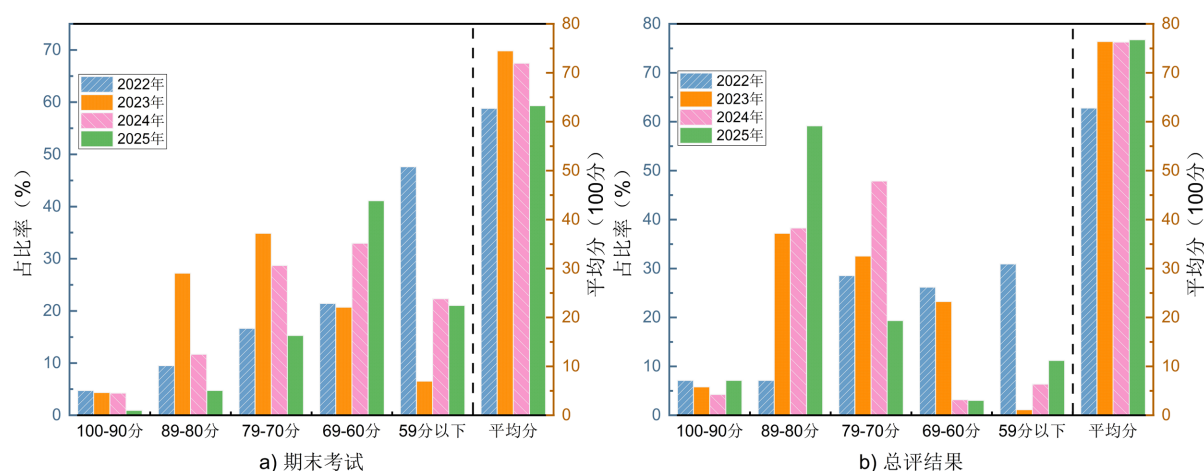


Figure 3. Comparison of final exam and overall assessment results

图 3. 期末考试和总评结果对比

6. 结语

教学改革的价值在于实践检验与持续改进。材料固体物理课程教学改革是一项不断完善系统工程，需要理念创新、内容重构、方法变革和评价完善的多维协同。本研究基于“四位一体”的教学改革思路，通过教学内容重构、教学方法创新、学习方式引导、考核体系改革的实践路径，构建了材料固体物理课程的混合式教学模式，通过教学实践验证了改革方案的有效性，课程改革在提升教学效果、培养学生能力等方面取得了显著成效，但仍需在教育理念、内容方法、技术融合等方面持续探索。为后续持续优化指明方向，有望为新工科背景下的理论课程教学改革提供有益借鉴。

7. 展望

随着百年未有之大变局的加速演化，世界科技、教育和产业等格局正在加速变革。当下，人工智能技术(AI)已成为新一轮科技和产业变革的关键着力点，是大国竞争的核心。人工智能技术(AI)已不断渗透到教育领域，赋能助力教育强国建设已成必然选择。对人才培养目标的设定、重构教育课程的内容、深化教学和学习方式的变革等方面也将扮演重要的角色并产生深远的影响。基于此，我们需主动推进人工智能技术与课程的深度结合，推动教学方式创新突破，让智能技术成为加速教育大国向教育强国转型的重要推动力。

基金项目

2023 年湖南工业大学教学改革研究项目——“双一流”建设背景下材料固体物理课程持续改进机制研究(2023YB05)。

参考文献

- [1] 宋杨, 游才印, 李峰, 等. 材料学科中固体物理课程教学的改革与实践[J]. 教育现代化, 2020, 7(45): 51-53.
- [2] 乐传永, 夏银水, 叶孟, 等. “四新”建设: 理论探索与实践路径[J]. 宁波大学学报(教育科学版), 2022, 44(1): 1-21.
- [3] 李琼, 杨格丹, 李敏辉. “以学生为中心”的融合交互教学模式研究——以清华大学深圳国际研究生院为例[J]. 现代教育技术, 2021, 31(10): 110-117.
- [4] 教育部. 高等学校课程思政建设指导纲要[Z]. 教高[2020]3 号, 2020-05-28.
- [5] 胡学敏, 孙李鸿, 陈晓玉, 等. 人工智能背景下 Materials Project 数据库在计算材料学课程教学中的应用[J]. 科教文汇, 2024(10): 90-94.
- [6] 张林, 刘永利, 张艳辉, 等. 新工科视域下固体物理课程的研究型教学探索[J]. 科学咨询(教育科研), 2021(37): 57-58.
- [7] 高健, 赵晟杨. “双碳”背景下新工科“固体物理”课程教学改革探索[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2024(2): 88-91.
- [8] 苏欣, 高峰. Materials Studio 软件在固体物理教与学中的应用[J]. 伊犁师范学院学报(自然科学版), 2018, 12(3): 85-88.