

# Reforming PBL with AI: A New Paradigm for Teaching “Fundamentals of Materials Engineering”

Wenxin Cao Zhengang Guo

School of Materials Science and Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin, 300192, China

## Abstract

Under the emerging engineering education paradigm, a shift from knowledge delivery to competency development is imperative. This study proposes an AI-enhanced Problem-Based Learning model for the Fundamentals of Materials Engineering course, addressing limitations in problem authenticity, inquiry depth, and assessment accuracy in conventional PBL. The framework integrates four AI-driven components: authentic problem generation, dynamic inquiry assistance, innovative virtual simulation, and intelligent evaluation, establishing a new closed-loop "Learn-Simulate-Apply-Innovate" pedagogical cycle and multidimensional ideological education mechanisms. Implementation demonstrates significant improvement in students' abilities to define problems, integrate interdisciplinary knowledge, and generate innovative solutions in complex engineering scenarios, providing an effective approach for developing materials engineers with systems thinking and sustainability consciousness.

## Keywords

Artificial Intelligence; Problem-Based Learning model; Fundamentals of Materials Engineering; Industry-Academia Collaboration

## AI 赋能《材料工程基础》PBL 教学创新探索

曹文馨 郭振刚

天津城建大学材料科学与工程学院, 中国·天津 300192

## 摘要

在新工科建设背景下, 工程教育范式亟待从知识讲授向能力与素养培养转型。本文以《材料工程基础》课程为载体, 在已有产教融合、虚拟仿真、跨学科项目等实践基础上, 针对传统问题导向学习模式中问题真实性、探究深度与评价精准性的瓶颈, 系统提出人工智能技术深度赋能的PBL教学模式重构方案。通过构建“AI+妙问、巧探、优创、智评”四大核心模块, 形成“学-仿-做-创”闭环教学及思政新范式。教学实践表明, 该模式显著提升了学生在复杂工程情境下的问题定义、跨学科整合与创新优化能力, 为培养具备系统性思维与可持续发展理念的未来材料工程师提供了可借鉴的路径。

## 关键词

人工智能; PBL; 材料工程基础; 产教融合

## 1 引言

《材料工程基础》作为材料科学与工程专业的核心课程, 涵盖气体力学、传热原理、燃烧等核心理论, 是连接基础理论与工程实践的桥梁。传统教学模式虽辅以案例讲解, 但学生仍多处于被动接受状态, 难以将离散知识点融会贯通, 以应对真实复杂、多约束的工程挑战。问题导向学习(PBL)<sup>[1, 2]</sup>作为一种以学生为中心的教学方法, 通过让学生在解决真实、复杂问题的过程中学习知识, 已被证明是培养工程能力的有效途径。

然而, 当前PBL实践仍面临诸多挑战: 教师预设的“结构化问题”与工程实践中“非结构化、劣构性问题”存在差距; 学生苦于在海量信息中探索, 难以聚焦核心矛盾; 对学

生探究过程与思维演变缺乏精准、个性化评估。人工智能技术的迅猛发展, 特别是大语言模型、机器学习、数据挖掘与高性能计算技术的成熟, 为破解上述难题提供了前所未有的机遇<sup>[3-6]</sup>。本文旨在探讨如何将AI技术深度、系统地融入《材料工程基础》的PBL教学全流程, 重构教学模式, 实现“知识教授”到“赋能创新”的根本性转变。

我院《材料工程基础》教学团队经多年改革, 已在产教融合、虚拟仿真、跨学科项目与多元化评价方面取得了显著成效: 课程融入了大批工程实践案例及绿色工艺与窑炉设计项目, 建立了深度产学研协同育人模式, 引入企业专家力量, 具备了虚拟仿真教学根基, 为教学模式进一步升级奠定了坚实的基础。

## 2 AI 赋能 PBL 教学模式的核心架构设计

基于课程已有基础, 我们构建了以“AI赋能、虚实融合、闭环迭代”为特征的PBL教学模式新架构。该架构围绕“问

【作者简介】曹文馨(1991-), 女, 中国湖南郴州人, 博士, 从事热力耦合计算研究。

题生成、探究过程、实践平台、评价反馈”四个核心环节进行系统性重构。

## 2.1 “妙问”——从“给定案例”到“AI+ 真实数据驱动的问题发现”

传统 PBL 问题多由教师基于经验提炼。我们升级为以企业真实数据为核心，引入窑炉运行热工参数、燃烧污染物排放实时数据、烧成过程质量检测数据等，构建产教融合数据池，利用 AI 辅助问题挖掘与生成，对数据库进行探索性分析。例如，学生可提出“分析影响卫生陶瓷产品优等率的关键热工参数”或“寻找氮氧化物排放与特定燃烧区间温度的非线性关系”等探究性问题。或利用 AI 基于企业痛点（如“降碳”、“提质”、“降本”）生成一系列开放性的项目选题，如“设计一种隧道窑某区段能耗降低 15% 的优化方案”，以“AI+ 妙问”将问题的定义权和发现权移交给学生。

## 2.2 “巧探”——从“信息检索”到“AI+ 深度探究与跨学科整合”

超星 AI 智能体能有效助力学生进行高效而深入的知识建构。当学生在研究“富氧燃烧对传热效率及  $\text{NO}_x$  生成影响”时，可随时通过 AI 助教问答，获得从基础概念到前沿研究的阶梯式解释，并快速生成相关领域的文献综述。在绿色窑炉设计项目中，AI 可作为跨学科整合桥梁，协助学生综合热力学、环境工程（碳排放）、经济学（成本分析）等跨学科知识，培养学生系统性权衡的工程思维。

## 2.3 “优创”——从“虚拟仿真”到“AI+ 虚拟仿真的‘学-仿-做-创’闭环”

集成基于机器学习的材料性能预测模型，搭建 AI 增强的虚拟仿真平台：例如，学生设计新型窑炉耐火材料时，可

先在平台中输入成分设计，AI 模型能快速预测其导热系数、热膨胀系数等关键参数。实现“结构-性能”的逆向设计，并基于“仿-做”反馈，实现多轮迭代优化，提出创新构想，将仿真从“验证工具”升级为“创新助手”。实践表明，该模式下，学生独立完成窑炉流场仿真与实验验证比例大大提升，学习绩效显著提高。

## 2.4 “智评”——从“结果考核”到“AI+ 全过程智慧评价”

利用超星 AI 助教分析学生超星平台上的讨论记录、项目日志，通过 AI 识别关键论点及对逻辑严密性的论证，评估学生批判性思维、沟通协作能力表现，为教师提供准确客观的过程数据支持，实现 AI 赋能过程性评价。终结性评价邀请行业专家参与项目答辩评审，对方案可行性、创新性、经济环保效益进行评判。再由 AI 超星助教整合学生过程性与终结性评价数据，生成个性化“能力雷达图”，清晰精准展示其在知识应用、创新思维、团队合作等维度评估，并为教学内容的持续优化提供数据驱动的决策依据，建立科学、动态的评价与反馈机制。

## 3 可执行、可评估的课堂教学单元设计案例

基于“AI 赋能的 PBL 教学模式”设计框架，以“传热原理”核心章节为例，展示目标精准化、学习闭环化及 AI 深度赋能的模块式教学设计。

该教学模式下，学生不仅在知识层面“学会”了传热原理，更通过实际工程案例 PBL 引入及 AI 工具辅助，在能力和素养层面“会用、善优、敢创”，为成为卓越的未来工程师奠定坚实基础。

表 1 传热原理章节的 AI-PBL 教学设计

模块名称	核心问题	核心知识与能力	AI-PBL 项目	产出与评价
学	如何定量评估窑炉热损失？	导热、对流、辐射的基本定律与计算；热阻概念	AI 案例库探索；AI 助教概念解析	窑炉热损失初步评估
仿	窑炉内复杂传热过程如何相互影响？	复合传热机理；边界条件设定；CFD 仿真基础	AI 增强的虚拟仿真（“学仿”闭环）	窑炉温度场与热流场仿真分析
做	如何为窑炉设计一套高效保温方案？	保温材料选型；经济性、安全性与环保性权衡	AI 辅助材料选型与多目标优化	保温系统优化设计方案
创	是否有突破性的窑炉节能新思路？	前沿传热技术；创新思维	AI 辅助创新头脑风暴；方案迭代	最终方案与创新提案

## 4 基于 AI-PBL 教学模式的思政融入与评价

AI-PBL 教学模式下，学生不仅在做中学、在悟中德，AI 赋能更为思政教育赋予了更强的吸引力和感染力<sup>[7-9]</sup>，实现“传材料工程之‘术’，铸材料强国之‘魂’”的课程内容、思政元素与产教融合的完美契合。具体思政元素与课程模块的深度融合路径见表 2。

AI-PBL 模式下对思政维度的评价也更加精准客观，通过设定 AI 关键词（如“安全”、“标准”、“创新”、“碳中和”）分析学生在虚拟仿真平台上的操作日志及项目报告中的关键论点及语言逻辑，产出 AI-PBL 项目评价量表，动

态了解学生工程价值观的建立过程，实现对学生职业素养和工程意识的塑造。

## 5 结论

本研究在《材料工程基础》课程已有的坚实改革基础上，前瞻性地构建了以 AI 技术深度赋能 PBL 的教学新模式。该模式通过将 AI 有机嵌入问题生成、探究分析、仿真验证与教学评价的全链条，实现了三大核心转变：教学核心从“解构问题”向“发现与定义问题”延伸；实践平台从“验证型仿真”向“创生型仿真”进化；评价体系从“多元考核”向“智慧赋能”升级。

表2 思政元素与课程模块的深度融合路径

课程核心知识模块	思政元素	具体融入方式与教学活动设计	预期思政目标
气体力学	系统思维 大局观念	案例导入：讲解我国“西气东输”工程。分析数千公里管道输送中，气体流动阻力的精准预测与控制是如何成为决定工程成败与经济性的关键技术之一。	局部流动特性对全局系统的影响。
传热原理	节能环保 国家战略 创新驱动	数据驱动教学：展示我国工业领域能耗数据，其中窑炉、锅炉等热工设备的能耗占比巨大。将“降低热损失”从一个技术问题，提升到关乎国家“双碳”战略和能源安全高度。 绿色PBL项目：核心项目“隧道窑壁面保温系统设计及能效优化”。完成热平衡计算和碳排放估算。引入相变储能材料、高反射率涂层等前沿技术，鼓励学生进行创新性节能设计。	强化节能减排意识和国家战略认同感，激发通过技术创新服务绿色发展的内在动力。
燃烧	工程伦理 责任担当 辩证思维	正反案例对比： 正面：讲述我国研发的超低氮氧化物燃烧器技术，如何通过精准控制空气动力场与温度场，高效燃烧的同时，从源头抑制污染物生成。 反面：分析国内外重大火灾、爆炸事故（如天津港“8·12”事故），从可燃物、助燃物、点火源燃烧三要素角度进行技术反思，强调安全规范、过程控制的极端重要性，筑牢安全红线意识。	辩证看待燃烧：燃烧既是能量来源，也可能是污染源头，关键在于如何用科技“兴利除弊”。 树立“生命至上、安全第一”的工程伦理观和社会责任心，培养用技术手段解决社会问题的能力。
热工设备	工匠精神 自主创新	产教深度融合：邀请企业工程师讲解现代工业窑炉如何集成低阻高效燃烧器、强化传热技术、清洁燃烧技术于一体。分享在调试过程中，为提升1%的热效率所付出的精益求精的努力，生动诠释工匠精神。 AI赋能仿真：在虚拟仿真平台中，让学生对一套完整窑炉系统进行“手术”，例如调整一次风/二次风比例（燃烧学与气体力学耦合）、优化排烟温度（传热学与系统能效耦合）。通过AI算法实时给出能效、排放和成本的综合评估，让学生在反复迭代中体会复杂系统优化的挑战与乐趣，理解多目标权衡的工程现实。	培养对技术精益求精、追求卓越的工匠精神，面对复杂系统敢于创新、善于优化的综合能力。
前沿专题	科技自强 国际视野	专题研讨：组织学生研究“碳中和”目标下的前沿燃烧技术，如富氧燃烧与CO <sub>2</sub> 捕集等。	讨论这些技术对我国实现能源独立和科技自强的战略意义。

实践证明，这一重构有效激发了学生的学习自主性与创新潜能，显著提升了其应对复杂工程挑战的综合素养。这不仅是对《材料工程基础》一门课程的改革，更是对新工科理念下“如何培养未来工程师”这一时代命题的有益探索。

该教学模式下，教师从知识的权威传授者，转变为学习模块的设计者、企业资源的联结者、AI工具的策展人以及学生探究的引导者。这对教师提出了极高的要求，而构建与维护AI增强的虚拟仿真平台需要持续的经费与技术支持。应充分利用产学研合作优势，争取更多企业资源，共同开发与升级教学平台。

### 参考文献

- [1] 崔岩,张青,罗宝晶,等.新工科背景下PBL教学法在材料热力学课程中的应用探索[J].工业技术与职业教育, 2023, 21(3):55-58.
- [2] 徐静,侯宏录.新工科背景下PBL模式在创新型人才培养中的应用研究[J].中国现代教育装备, 2022(13):94-96.
- [3] 卢滇楠 党 漾 王宏宁 黎叙锐.生成式人工智能赋能高校

课程教学:以“化工热力学”课程为例[J].清华大学教育研究,2024,(05):89-98.

- [4] 王涛,李文璞.基于超星学习通的工程热力学与传热学课程混合式教学模式改革探索[J].山西青年,2025(18):104-106.
- [5] 王海鹏,许梁,蒋笑.数字赋能的混合式教学模式研究与实践——以工程热力学课程为例[J].当代教育实践与教学研究(电子刊),2025(3):9-12.
- [6] 石 尔,赵 斌,姜昌伟,等.能源动力类专业“工程热力学”一流课程建设探索与实践[J].高等工程教育研究, 2023 ( S1 ): 114-117.
- [7] 谢幼如,邱 艺,章 锐,等.数字化转型赋能高校课程思政的实施进阶与评价创新[J].中国电化教育, 2022 ( 09 ): 7-15.
- [8] 孙文静,王春华,姚倩.“双碳”背景下“工程热力学”课程思政教学改革探索 [ J ]. 工业和信息化教育, 2023 ( 4 ): 35-38.
- [9] 何茂刚,刘向阳,张颖.课程思政及热力学的思政元素 [ J ]. 高等工程教育研究, 2023 ( S1 ): 213-215, 222.