

融合人工智能的《现代表面技术》中化学气相沉积虚拟仿真实验教学方案设计

谭伯川^{1*}, 何家洪², 邓洪达¹, 兰伟¹, 曹献龙¹, 孙建春¹, 曾文¹

¹重庆科技大学冶金与动力工程学院, 重庆

²重庆文理学院化学与环境工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年11月20日; 录用日期: 2026年1月16日; 发布日期: 2026年1月27日

摘要

人工智能技术的快速发展为工程类核心课程的教学方式提供了新的变革契机。《现代表面技术》课程内容涉及多种表面处理工艺与表征方法, 传统以教师讲授与静态演示为主的教学模式难以充分支撑学生对复杂工艺机理的理解与综合应用能力的培养。为此, 本文在梳理相关研究基础上, 聚焦于课程中的化学气相沉积(Chemical Vapor Deposition, CVD)虚拟仿真实验模块, 提出一套融合人工智能技术的教学方案设计思路。方案以基于知识图谱的个性化学习路径推荐和基于学习行为数据的学习分析为核心技术支持, 通过构建CVD工艺知识图谱、设计虚拟仿真实验场景以及规划“课前引导-在线实验-结果反思-工程情境拓展”的教学流程, 为学生提供分层递进、因材施教的学习路径。同时, 从教学评价与教育伦理视角出发, 构想了融合过程性学习数据的多元评价框架, 并探讨了在新型教学模式下教师从“知识传授者”向“学习设计者与数据解读者”的角色转变。本文旨在为《现代表面技术》课程的智能化升级提供一种可借鉴的方案设计与路径探索, 为后续开展实证研究奠定方法基础。

关键词

人工智能, 现代表面技术, 化学气相沉积, 虚拟仿真实验教学, 个性化学习

Design of a Virtual Simulation Experimental Teaching Scheme for Chemical Vapor Deposition Integrating Artificial Intelligence in Modern Surface Technology

Bochuan Tan^{1*}, Jiahong He², Hongda Deng¹, Wei Lan¹, Xianlong Cao¹, Jianchun Sun¹, Wen Zeng¹

*通讯作者。

文章引用: 谭伯川, 何家洪, 邓洪达, 兰伟, 曹献龙, 孙建春, 曾文. 融合人工智能的《现代表面技术》中化学气相沉积虚拟仿真实验教学方案设计[J]. 创新教育研究, 2026, 14(1): 575-580. DOI: 10.12677/ces.2026.141071

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) has brought new opportunities for transforming the teaching of engineering core courses. Modern Surface Technology covers a wide range of surface treatment processes and characterization methods, and traditional lecture-based and demonstration-based teaching models are insufficient for supporting students in understanding complex process mechanisms and developing comprehensive application abilities. Based on a review of related studies, this paper focuses on the chemical vapor deposition (CVD) virtual experiment module in the Modern Surface Technology course, and proposes an AI-enhanced teaching scheme at the stage of conceptual design. The scheme is mainly supported by a knowledge-graph-based personalized learning path recommendation mechanism and learning analytics based on students' behavioral data. By constructing a CVD process knowledge graph, designing immersive virtual experiment scenarios, and organizing a "pre-class guidance, online experiment, reflection on results, engineering context extension" teaching flow, the scheme aims to provide a layered and differentiated learning pathway for students. In addition, from the perspectives of assessment and educational ethics, a multi-dimensional evaluation framework integrating process data is outlined, and the evolving role of teachers as learning designers and data interpreters in AI-supported teaching is discussed. This work is positioned as a scheme design and pathway exploration, which is expected to provide methodological support for subsequent empirical studies.

Keywords

Artificial Intelligence, Modern Surface Technology, Chemical Vapor Deposition, Virtual Simulation Experimental Teaching, Personalized Learning

Copyright © 2026 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

人工智能技术的迅猛发展正在深刻改变教育领域的格局与范式，传统课程体系面临转型升级的迫切需求[1]-[4]。作为材料科学与工程领域的核心课程，《现代表面技术》在培养学生工程实践能力与创新思维方面具有不可替代的作用，其教学内容涵盖薄膜制备、表面改性、材料表征等前沿技术，是连接理论与工程应用的关键桥梁[5]-[8]。然而当前课程体系仍存在显著局限性：教学内容滞后于技术发展，难以融入人工智能驱动的材料表征与工艺优化方法；教学方法停留在单向灌输模式，缺乏基于智能技术的交互式学习场景构建；评价体系过于依赖理论考试，忽视对学生数据处理、算法应用等核心能力的评估。

课程改革的必要性源于技术与教育目标的双重驱动。从技术维度看，人工智能在材料表面分析中的应用已形成新范式，例如深度学习算法被广泛用于表面缺陷检测与工艺参数优化。现有课程中对这些技术原理的阐述尚停留在理论层面，未能通过实验与案例教学展现其工程价值。从教育维度分析，课程目标需要从单纯的知识传授转向复合型人才培养。思政育人理念强调，课程应强化学生在智能时代的

职业伦理认知与技术创新意识[9] [10]。当前课程在价值观培养方面存在明显缺失,未能有效整合人工智能伦理、数据安全等关键议题。

此次课程教学改革的探索具有多维度的潜在价值。首先,在内容层面,方案不再试图对整门《现代表面技术》课程进行“全景式重构”,而是选取化学气相沉积(CVD)作为典型工艺模块,通过构建与之相匹配的知识图谱和虚拟仿真实验场景,引导学生在具体工程情境中理解表面改性机理。其次,在技术路径上,方案聚焦于知识图谱驱动的个性化学习路径推荐与学习行为数据分析两类人工智能技术,避免泛化罗列多种算法,从而提高技术设计的可实现性与可解释性。再次,在评价与育人目标方面,方案尝试将过程性学习数据与工程伦理教育相结合,通过 CVD 虚拟场景中的风险工况模拟和故障追因分析,引导学生在实践中形成安全意识与责任意识。与现有《现代表面技术》课程改革研究[5]-[10]相比,本文从人工智能深度赋能特定工艺模块和凸显教育伦理维度的角度提出了一种具有针对性的教学方案设计与路径探索,为后续实证研究提供了可操作的设计蓝图[4]。

2. 人工智能在《现代表面技术》课程中应用

2.1. 基于知识图谱的个性化学习路径推荐系统设计

智能教学系统的核心在于对课程知识的结构化表达与学习路径的动态生成。针对《现代表面技术》课程中化学气相沉积(CVD)这一典型模块,本文设计了基于知识图谱的个性化学习路径推荐系统。系统首先围绕 CVD 工艺流程,将“反应气体组成-工艺参数(温度、压强、流量)-反应机理-膜层结构与性能”等概念节点抽取为知识单元,并根据“先修关系”“因果关系”“应用关系”等构建 CVD 工艺知识图谱。在此基础上,系统结合学生的前测结果、历史学习记录和虚拟仿真实验操作日志,对其在各知识节点上的掌握程度进行估计,并据此生成差异化的学习路径建议,例如为基础薄弱的学生强化“基础机理+典型工艺曲线”学习,为能力较强的学生推送“参数优化与工程案例”等进阶任务。通过这种方式,知识图谱不仅承担课程知识组织的作用,也成为个性化学习路径生成的核心数据结构。

在系统架构上,知识图谱驱动的个性化学习路径推荐系统主要由四个模块组成:① 学习者建模模块,负责采集并更新学生的基础信息和学习行为数据;② 知识图谱管理模块,维护 CVD 工艺相关知识节点及其关联关系;③ 路径生成与推荐模块,基于当前掌握状态和目标学习单元计算适宜的学习路径;④ 可视化与反馈模块,以图形化界面呈现推荐路径并接收学生反馈。整体架构可抽象为“学习者-知识图谱-路径生成-学习活动”的闭环流程。为便于在教学实践中实现,本文在方案设计阶段给出了个性化学习路径生成的伪代码示意:

Algorithm 1 个性化学习路径生成流程(伪代码), Input: 学生 s 的知识掌握向量 K_s , 目标知识节点 t 。

- 1) 在知识图谱中检索从已掌握节点到 t 的所有可行路径集合 P 。
- 2) 对每条路径 $p \in P$ 计算其综合代价 $C(p)$, 代价由路径长度、先修难度和学生兴趣权重共同决定。
- 3) 选取代价最小的若干条路径组成候选集合 P^* 。
- 4) 根据学生近期学习行为(如虚拟实验次数、论坛提问主题)对 P^* 进行再排序。
- 5) 向学生推荐排名靠前的 1~2 条学习路径,并记录其选择结果。

Output: 个性化学习路径推荐列表。

在实现思路,方案建议采用轻量化的微服务架构,将知识图谱管理、学习者建模和路径推荐等核心服务进行解耦,通过标准化 API 与学校现有教务系统和学习平台进行数据互通。知识图谱初始版本可由教师团队基于课程大纲与典型 CVD 案例手工构建,后续再结合学生学习行为记录进行迭代修订。考虑

到教学场景下的数据安全与隐私要求，方案强调在本地部署关键服务，敏感数据不离开校内环境，仅对去标识化后的统计特征进行汇总分析，从而在提升智能化水平的同时兼顾教育伦理与合规性。

2.2. 化学气相沉积虚拟仿真实验平台设计

化学气相沉积虚拟仿真实验平台是本方案中人工智能技术与课程内容结合的关键载体。平台围绕典型 CVD 工艺流程，构建了包含反应室结构、气体输运路径、反应区域温度场分布及沉积膜层生长过程的三维交互式场景，学生可在虚拟环境中对“反应温度”“工作压强”“前驱体气体流量”“反应时间”等关键参数进行可视化调节，并实时观察膜层厚度、表面形貌和致密性等指标的变化趋势。通过与前述知识图谱和个性化学习路径推荐系统对接，平台能够根据学生当前掌握水平自动生成不同难度的仿真实验任务，如基础认知型任务侧重单参数变化的影响分析，综合应用型任务则要求学生在多个约束条件下完成工艺参数优化与结果解释。这种虚拟仿真与个性化推荐深度融合的设计，有望在有限线下实验资源条件下拓展学生的实验体验深度与广度。

2.3. 基于学习行为数据的学习分析与教学诊断

人工智能技术在《现代表面技术》课程教学中的引入，为实现个性化学习路径规划提供了新的技术支撑。传统课程教学模式普遍存在“一刀切”现象，难以满足不同学习者在认知基础、兴趣倾向和职业目标等方面的差异性需求。通过构建基于人工智能的智能教育系统，能够有效整合多维度学习者数据，动态分析学习行为特征，从而生成具有针对性的个性化学习方案。

在 CVD 虚拟仿真实验场景下，学生的学习过程会以多种形式留下数字化痕迹，如登录频次、仿真实验次数、参数调整轨迹、任务完成时间以及论坛提问与讨论记录等。基于这些学习行为数据，方案提出构建面向教师的学习分析与教学诊断仪表盘，用于支持对学生学习状态的过程性把握与个性化干预。

在具体设计上，系统将学生在 CVD 模块中的学习行为抽象为若干核心指标，包括“探索深度”（不同参数组合尝试的数量）、“探索广度”（涉及的知识节点覆盖度）、“坚持度”（任务完成率与持续时间）和“协作度”（与同伴互动次数）等。通过对这些指标的聚类分析，可以识别出不同类型的学习者画像，如“高频探索型”“被动完成型”“集中突击型”等，从而为教师在课堂提问、小组分工和课后辅导中提供决策参考。需要强调的是，方案仅在汇总与趋势层面使用学习行为数据，不对个体学生进行简单排名或标签化，避免因数据滥用带来新的教育不公平问题。

3. 课程改革方案设计

3.1. 课程内容优化

人工智能技术的快速发展为《现代表面技术》课程内容优化提供了新的可能性。与其对整门课程进行全方位、一次性重构，方案更强调围绕典型模块进行“深加工”的设计思路。以化学气相沉积(CVD)模块为例，课程内容在原有“工艺原理-设备结构-应用实例”框架基础上，引入“CVD 工艺知识图谱构建”“虚拟仿真实验任务设计”“学习行为数据解读”等新内容，使学生在掌握传统理论的同时接触智能化分析工具。对于其他表面工程工艺，则通过选取少量具有代表性的案例进行类比性拓展，避免在有限学时内对所有工艺一一展开，保证课程内容的整体聚焦与深度。

3.2. 教学方法创新——以 CVD 为载体

在人工智能技术深度渗透高等教育的背景下，《现代表面技术》课程改革需通过教学方法创新构建适应学科前沿需求的新型教学模式。教学方法改革以学生为中心，整合人工智能技术与教学实践，重点

探索混合式教学与项目式学习的深度融合路径,同时结合案例教学法、翻转课堂等方法形成多维协同的教学体系。混合式教学通过线上线下的有机衔接,突破传统课堂时空限制,实现教学资源的智能化整合与教学过程的精准化设计。线上平台依托 MOOC、虚拟仿真实验平台及智能学习管理系统,提供模块化课程资源、实时互动答疑和个性化学习路径推荐。线下教学则侧重问题导向的研讨、案例分析和实践操作,通过教师引导与小组协作深化知识内化。例如,在表面改性技术教学中,学生可借助虚拟实验平台完成不同工艺参数的模拟实验,线上数据与线下讨论相结合,既降低实验成本,又提升实验设计能力。人工智能技术在此过程中发挥关键作用,智能推荐系统根据学习行为数据动态调整资源推送策略,而自然语言处理技术则支持师生跨平台的即时沟通与问题诊断。

在上述整体线上线下混合式教学框架基础上,方案以化学气相沉积(CVD)虚拟仿真实验为主要载体,将“线上个性化学习-虚拟实验操作-线下研讨反思”整合为一体的混合式教学流程。教学活动围绕“问题驱动→方案设计→仿真验证→结果解释→工程迁移”展开,鼓励学生在模拟工况下多次尝试不同工艺参数组合,并在小组讨论中比较不同方案的优缺点。在这一过程中,知识图谱驱动的学习路径推荐与学习行为数据分析发挥关键作用:前者为学生提供与其认知状态相匹配的学习任务,后者为教师提供基于过程数据的教学诊断信息,从而为实现“数据驱动的教学决策”奠定基础。

3.3. 评价体系改革

人工智能背景下《现代表面技术》课程改革方案设计需要构建与课程目标、教学内容及教学模式相匹配的评价体系。传统评价模式以理论考试和实验报告为主,难以有效衡量学生在创新思维、技术应用能力及跨学科整合能力方面的表现。为此,课程评价体系需从单一结果评价转向多元化过程性评价,通过多维度指标和多主体参与,实现对学生知识掌握、实践能力及职业素养的全面评估。

评价内容应覆盖课程改革方案所关注的核心要素。在知识维度上,方案强调细化对表面技术理论、材料表征方法及工艺优化原理的掌握要求,特别是 CVD 工艺机理与参数影响规律的理解;在能力维度上,将虚拟仿真实验任务完成质量、工艺参数设计合理性和结果解释的严谨性作为重要考察点;在素养维度上,则尝试将工程伦理意识、团队协作能力和技术创新意识纳入评价指标,通过课程设计报告、小组答辩和职业场景模拟等方式进行综合呈现。需要指出的是,目前上述评价体系主要处于方案设计阶段,未来仍需通过小规模试点和数据反馈对各指标的权重与可操作性进行进一步验证与优化。

4. AI 融合《现代表面技术》课程教学的伦理考量与教师角色重构

人工智能技术深度融入《现代表面技术》课程教学,在提升教学效率与个性化水平的同时,也带来了新的教育伦理挑战与教师角色变革要求。首先,在学习数据采集与使用方面,知识图谱构建与学习行为分析依赖于对学生多源数据的持续记录,如果缺乏必要的透明度与边界约束,容易引发隐私泄露和数据滥用风险。本方案在设计阶段即提出“最小必要数据”原则,即仅采集实现教学目标所必需的数据类型,并通过告知-同意机制向学生明确数据用途和保存期限,避免将学习数据用于与教学无关的排名、标签化等用途。

其次,在虚拟仿真实验情境中,过度依赖“零风险”的模拟环境可能削弱学生对真实工程风险的感知。为此,CVD 虚拟仿真场景中特意设计了若干“风险情境任务”,例如参数设置不当导致膜层开裂、设备异常引发工艺中断等,引导学生在分析问题原因和制定纠正方案的过程中,理解工程决策中的安全责任与职业规范,从而在虚拟环境中培养真实工程场景所需的风险意识与伦理判断能力。

再次,人工智能技术的引入对教师角色提出了新的要求。教师不再只是知识的单向传递者,而需要成为学习路径的设计者、学习数据的解读者以及工程伦理的引导者。一方面,教师需要具备基本的 AI 工

具使用与数据素养，能够理解知识图谱与学习分析结果背后的假设与局限；另一方面，教师仍然是价值引领的关键主体，需要在课堂讨论与案例分析中帮助学生正确理解技术与社会、效率与公平之间的张力，避免将 AI 工具简单等同于“中立”的技术手段。通过对教师角色的重新定位与能力支持，本方案力图在技术创新与人文关怀之间寻求平衡，使课程改革不仅体现智能化特色，也体现工程教育的价值底色。

5. 结论与展望

本文面向人工智能时代高等工程教育的需求，围绕《现代表面技术》课程中的化学气相沉积虚拟仿真实验模块，提出了一套融合知识图谱驱动个性化学习与学习行为数据分析的教学方案设计思路。方案从课程内容优化、教学方法创新和评价体系构想三个维度出发，尝试在虚拟仿真环境中重构“理论 - 实验 - 工程情境”一体化的学习路径，并结合教育伦理与教师角色重构的讨论，为相关课程的智能化升级提供了具有针对性的设计蓝图。

需要强调的是，本文工作主要处于方案设计与路径探索阶段，尚未在大规模教学实践中系统验证其效果。未来研究可在小范围试点中引入实验组与对照组，通过前后测、学习行为数据与访谈等多源数据综合分析方案实施的实际成效，并据此对知识图谱结构、虚拟仿真实验任务设计以及评价指标体系进行迭代优化。同时，可进一步拓展本方案到其他表面工程工艺模块，比较不同工艺特征与 AI 支撑方式之间的适配关系，从而不断丰富“人工智能 + 工程课程”改革的实践谱系。

参考文献

- [1] 张磊, 王莉, 张尢琳. 基于新工科理念的“人工智能导论”课程教学改革研究[J]. 科技风, 2025(32): 55-57.
- [2] 魏文红, 李清霞. 基于数智化的数据库系统原理课程混合式教学模式改革与实践[J]. 东莞理工学院学报, 2025, 32(5): 116-120.
- [3] 吴颖文, 王进, 焦儒旺, 等. 人工智能赋能特征工程课程教学改革研究[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(29): 165-167.
- [4] 范晓莹. 人工智能赋能教师角色转换的教学设计与实践研究[J]. 北京宣武红旗业余大学学报, 2025(3): 20-28.
- [5] 吕迎, 李俊刚, 王军, 等. 现代表面技术课程教学改革[J]. 中国冶金教育, 2012(4): 26-29.
- [6] 郭梁超, 李黛玥, 魏新龙, 等. 基于 OBE 教育模式下的《现代表面技术》课程教学改革研究[J]. 表面工程与再制造, 2024, 24(1): 39-42.
- [7] 刘筱薇. 现代表面技术课程教学方法的改革[J]. 中国冶金教育, 2009(4): 38-39.
- [8] 吕迎, 李俊刚, 吴明忠, 等. 现代表面技术教学和科研相结合的教学改革探讨[J]. 铸造设备与工艺, 2012(4): 52-54.
- [9] 王荣艳, 郭策安, 霸书红, 等. 《现代表面技术》课程思政教学改革探讨[J]. 产业与科技论坛, 2021, 20(13): 153-155.
- [10] 徐义库, 赵秦阳, 王红波, 等. 《现代表面技术》课程思政融入路径及探索实践[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2022(4): 205-208.