

AI赋能的冶金原理沉浸式学习体系构建与实践

权变利, 王 芹, 陈 琳

贵州大学材料与冶金学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年12月14日; 录用日期: 2026年1月13日; 发布日期: 2026年1月22日

摘要

在全球产业智能化转型与国家“新工科”建设双重驱动下, 传统冶金工程教育面临深刻挑战, 针对传统冶金原理课程中知识抽象性强、实践教学资源不足等问题, 本文聚焦冶金工程核心基础课《冶金原理》, 系统探讨人工智能(AI)技术驱动下的教学内容深度重构路径; 打造基于知识图谱与虚拟仿真的可视化知识表征、创设数据驱动的探究式教学模式、建立“知识-能力-思政”多维综合评价体系, 通过搭建虚实结合的实验平台、开发智能教学系统、构建数据驱动的教学评价体系, 重塑为一门融合数据科学、具备动态优化能力和前沿视野的现代化课程, 最终培养出能够驾驭智能时代冶金工业复杂性的复合型创新人才。

关键词

AI赋能, 数字化, 冶金原理, 内容重构

AI-Enabled Immersive Learning System for Metallurgical Principles: Construction and Practice

Bianli Quan, Qin Wang, Lin Chen

College of Materials and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: December 14, 2025; accepted: January 13, 2026; published: January 22, 2026

Abstract

Driven by the global shift toward intelligent industry and China's "New Engineering" initiative, traditional metallurgical education is facing unprecedented challenges. Confronted with the abstract nature of core knowledge and the shortage of hands-on resources in conventional Metallurgical Principles courses, this paper focuses on the cornerstone subject Metallurgical Principles and systematically explores an AI-powered pathway for deep restructuring of teaching content. By building

a visual-knowledge representation based on knowledge graphs and virtual simulation, creating a data-driven inquiry-based teaching model, and establishing a multi-dimensional assessment system that integrates knowledge, competence and ideological education, we aim to reshape the course into a modern, data-science-embedded program with dynamic optimization capability and frontier perspective. Through the construction of a hybrid virtual-physical experimental platform, the development of an intelligent tutoring system, and the creation of a data-driven teaching-evaluation framework, the reform will ultimately cultivate interdisciplinary innovative talents capable of mastering the complexity of metallurgical industry in the intelligent era.

Keywords

AI Empowerment, Digitalization, Metallurgical Principles, Content Reconstruction

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

《中国制造 2025》提出冶金行业智能制造成熟度 2025 年需达 50%以上，正经历着以绿色化、智能化为核心的深刻产业变革，行业对具备数字孪生技术应用能力的人才需求年增长率达 24% [1]。教育技术革新机遇下，人工智能技术，特别是机器学习、深度学习与大数据分析等技术已成熟应用于工程教育领域。如 MIT 开发的“虚拟炼钢工坊”使冶金实验成功率提升 40% [2]。国内高校如北京科技大学已在重构专业培养框架，增设低碳冶金、冶金智能化等前沿课程集群[3]；内蒙古科技大学、江西理工大学等则率先开展了“AI + 传统专业”的深度融合实践[4][5]。在此背景下，对《冶金原理》这门核心基础课进行 AI 赋能的教学内容重构，已不是前瞻性探索，而是关乎专业存续与发展的迫切改革。

2. 研究现状

2.1. 理论教学抽象化，学生理解壁垒高

冶金原理涉及高温多相反应、复杂热力学计算等抽象理论，包括冶金过程中的热力学、动力学、相图分析、化合物生成分解、热力学平衡图等复杂理论模型[6]，传统板书 + PPT 的教学方式难以直观展示多变量耦合作用机理(如高炉内气 - 固 - 液多相反应动态过程)。根据 2022 年对国内 12 所冶金院校的调研显示，76%的学生认为“相图分析”“传输原理”等章节存在理解障碍[2]，导致学生“学不透、记不牢”。张训鹏等人[7]在《冶金工程概论》中系统阐述了这些基础理论的深度与广度，强调其对学生数理基础和空间想象力的高要求。以“相图分析”为例，传统静态二维相图难以表达成分、温度、压力等多变量耦合下组织的动态演变过程，学生常陷入“记图”而非“解图”的困境。北京科技大学王福明等[8]通过问卷和成绩分析指出，“冶金热力学”是学生挂科率最高、学习畏难情绪最重的模块，主因在于理论模型与工业实景的脱节。

2.2. 教学资源同质化，分层教学难度大

学生数、理、化基础与工程认知差异显著，但传统“一刀切”式教学无法提供个性化指导，后进生易产生畏难情绪，优秀生缺乏深度学习机会。赵烁等[9]通过对某重点冶金院校的跟踪调查发现，大一物理化学成绩与后续冶金原理成绩呈强正相关，且成绩分布呈现显著的两极分化趋势。

2.3. 实践教学薄弱，工程思维培养不足

冶金实验受实验设备和原材料的限制，且存在高温、高危、高浓度(如高温熔炼、高压设备)等特性，学生无法充分进行实践操作和探索，课堂案例与企业真实问题脱节，多数院校生均实验机时不足，导致理论实践严重脱节[10]，很大程度上限制了学生对冶金工艺的全面了解和掌握，学生难以建立“理论-工艺-产品”的系统工程思维[11]。

2.4. 评价体系不完善，创新能力激励不足

现有考核以闭卷考试为主，侧重知识点记忆，忽视对复杂问题解决能力(如工艺优化设计、异常工况诊断)的评估，抑制学生创新潜能[12]。

3. 数字化赋能的课程体系构建

3.1. 教学内容重构

(1) 教学情境下的思政

传统冶金原理课程基础理论教学中，受高温高危场地、设备等影响，思政融入较为牵强。利用数字化教学手段，结合冶金原理课程教学知识点，巧妙融合思政素材，有效提升教书育人的效果。

其一，于历史脉络与国情现实中厚植家国情怀。讲解冶金技术发展史时，重点介绍中国古代青铜文明、钢铁冶炼的辉煌成就，以及近现代以来中国冶金人为实现“钢铁强国”梦想的奋斗历程。通过对比中外技术差距的缩小乃至超越，引导学生深刻理解科技自立自强与产业链安全的极端重要性，激发服务国家重大战略需求的责任感与使命感。

其二，于科学原理与工程实践中锤炼科学精神与工匠精神。冶金热力学、冶金动力学等核心理论蕴含着严谨、求实的科学逻辑。在教学过程中强调精确计算、模型验证与对复杂现象本质的探究，培养学生尊重规律、追求真理的科研素养。同时，结合钢铁材料“百炼成钢”的工艺过程，阐释其中精益求精、一丝不苟的质量要求，将工匠精神的种子埋入学生心田。

其三，于技术前沿与产业转型中树立创新与绿色发展的理念。在讲授智能化冶金、短流程、低碳冶金等前沿内容时，不仅要分析技术原理，更要引导学生思考其背后的创新思维模式，以及其对资源高效利用、环境保护和可持续发展的重大意义。使学生认识到，新一代冶金工程师的使命不仅是提高产量，更是通过技术创新推动整个行业向着绿色化、智能化方向转型升级。

(2) 教学内容知识图谱

在超星平台冶金原理课程建设后，课程教学团队依托超星平台逐步开展了线上线下混合式教学改革。由于课程资源知识点的独立呈现，无法将课程内容有机联系起来。然而，知识图谱作为一种教学资源整合手段，将知识点与教学资源，如教材、试题、讲义、案例等以知识脉络的方式有效连接，实现信息的精确检索和拓展。这种结构化的方式可以帮助教师更清晰地组织和呈现教学内容，使学生能够快速定位关键概念，降低认知负荷。冶金原理课程各章节知识点之间脉络关系如图1所示。

3.2. 教学场景创新

(1) 问题驱动的项目场景

以钢铁企业的真实复杂工程问题(如“如何优化LF精炼工艺以稳定提升钢水纯净度”)作为核心项目，创设研究式学习场景。学生组建跨学科团队，运用原理知识分析问题，并调用AI数据分析工具、查阅文献数据库、进行虚拟试验，完成从问题定义、建模分析到方案设计的全流程，实现知识从碎片化到系统化应用的升华。

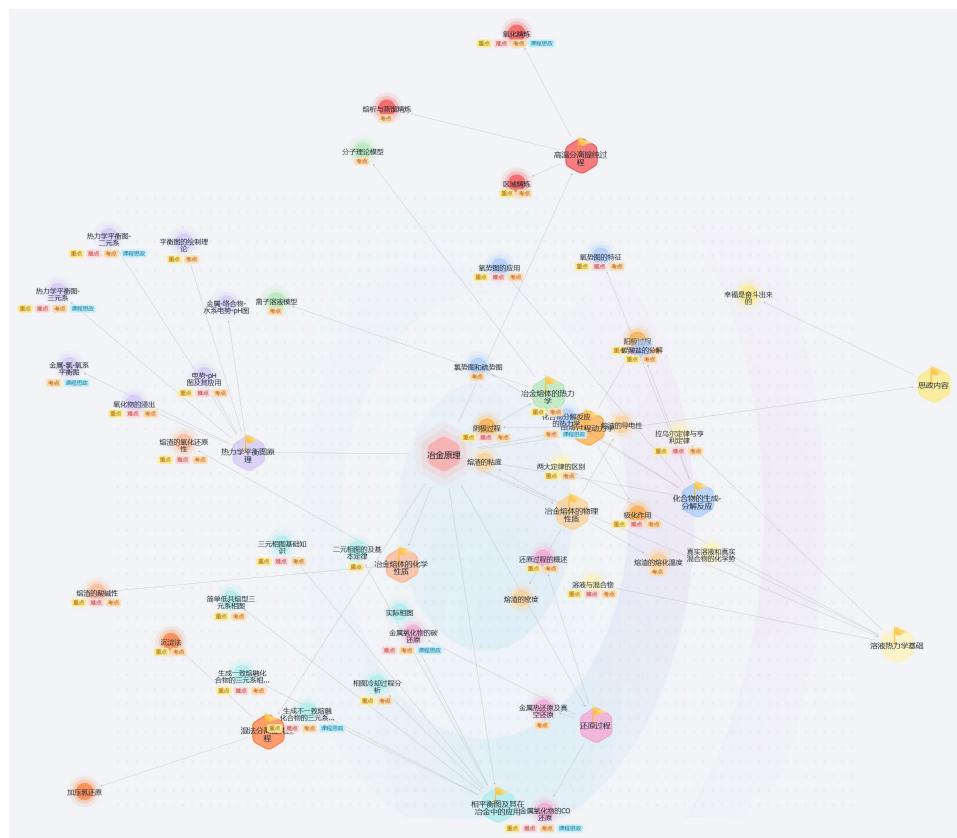


Figure 1. Knowledge graph
图 1. 知识图谱

(2) 虚拟仿真实验平台

在冶金原理课程中，利用虚拟现实(VR)技术创建一个虚拟实验室，将高危、高成本、宏观不可见的冶金反应过程(如高炉内多相流、电解槽内离子迁移)进行沉浸式、可视化还原，让学生在沉浸式环境中学习冶金过程自由度和钢铁性能关系等实验操作。将“不可为”的真实实验，动态调整参数并即时观察微观机理与宏观结果，将抽象原理转化为具象认知。通过增强现实(AR)技术，教师可以设计互动式教材，如通过扫描教材中的图片，学生可以看到三维的立体相图或热力学平衡图的动画，从而加深对冶金反应过程的理解。

(3) 人机协同的智慧课堂场景

变革“教师讲-学生听”的单向场景。课前，学生通过智慧平台与AI助教进行个性化预习与自测；课中，教师基于学情大数据进行精准讲解与讨论引导，学生则利用个人终端接入虚拟实验室或协作平台进行小组探究与实时建模；课后，AI系统提供自适应习题与学习路径规划。教师角色转变为学习的设计者、引导者和教练。

3.3. 教学评价的数字驱动

(1) 教师教学评价

教学行为评价：通过智能摄像头、录像回放系统等技术记录教师的教学过程，分析教师的教学行为，如课堂互动、教学方法运用等，为教师提供具体的教学反馈。同时，利用在线教学平台数据，获取学生的学习行为数据、作业完成情况以及在线讨论的参与情况等信息，综合评估教师的教学效果。

教学效果评价：借助学习管理系统(LMS)或在线教学平台，收集学生的学习成绩、学习进度、学习满意度等数据，分析教师教学对学生学习成果的影响。此外，还可以通过学生对课程的评价、同行评审等方式，从多个角度评价教师的教学效果。

教学发展评价：建立教师教学档案，记录教师的教学经历、教学成果、专业发展等情况，利用数据分析技术跟踪教师的教学发展轨迹，为教师提供个性化的教学发展建议，促进教师的专业成长。

(2) 学生学习评价

学习过程评价：利用学习分析技术，收集学生在学习过程中的各种数据，如学习时间、学习路径、学习资源使用情况、作业完成情况等，建立学生的学习画像，实时监测学生的学习进度和学习状态，将学生的各种表现数据化、可视化，为学生提供个性化的学习建议和指导。

学习成果评价：除了常规的考试成绩外，还可以通过项目作业、课外扩展、个人或小组作业等多种方式评价学生的学习成果。利用大数据分析技术，对学生的学业成绩进行横向和纵向的比较，分析学生的学习优势和不足，为学生提供针对性的学习反馈。

(3) 教学管理评价

教学质量监测：借助教学质量评价云平台等信息化手段，实时监测教学过程中的各种数据，如教学进度、教学内容、教学方法、教学效果等，及时发现教学中存在的问题，并采取相应的改进措施。

教学资源评价：分析教学资源的使用情况和效果，如教材、课件、课程案例、试题等，评估教学资源的质量和适用性，为教学资源的优化和更新提供依据。

4. 实施成效与挑战

4.1. 教学改革成效

基于知识图谱，在线学习平台可以记录学生与交互式 24 h 学伴互动的全过程数据：请教了哪些问题，经历了多少次循环、最终获得理想结果。这些过程性行为数据比最终结果更能反映其问题解决策略和探究深度，为形成性评价提供精准依据。也可以对学生的学习行为数据进行分析，生成个性化的学习路径。通过记录学生的学习偏好和轨迹，知识图谱能够帮助学生查漏补缺，提供针对性的学习建议。

4.2. 关键挑战与对策

(1) 技术融合壁垒

教师需要具备数字化教学能力，但许多教师缺乏相关培训和技术整合能力，导致教学负担加重，课堂沉浸式教学难以把控。学生则需要培养自主学习和信息筛选能力，以应对信息爆炸和资源多样化的挑战。

(2) 教学方法与内容的创新

传统教学方法难以适应数字化环境，教学内容需要不断创新以适应知识来源多样化和学习方式灵活化的需求。

(3) 持续改进机制

传统教学视频难以满足数字化教学要求，产业数据采集→数字孪生模型迭代→教学案例更新→学习效果反馈机制，以建立动态课程体系。

5. 结语

教学改革实践证明，AI 与数字化技术能有效突破冶金原理课程的教学瓶颈，在知识可视化、实践沉浸化、评价精准化等方面产生显著增益。未来发展方向，开发跨院校的冶金教育元宇宙平台，构建产教

联动的数字孪生教学工厂，探索生成式 AI 在创新实验设计中的应用。

课程知识图谱不是简单的课程内容的数字化，更不是线下教学内容的简单重复。构建知识图谱的过程是教师对教学过程不断实践、反思、调整和提升的过程。教师需深入分析教学目标，梳理课程内容，将知识点以逻辑关系和层级关系进行构建，充分体现课程知识图谱的系统性、层次性和动态性。通过系统化的知识组织、多媒体资源的开发和综合在线平台建设，在提升教学质量和学习体验的同时，也为未来的教育改革和发展提供了宝贵经验。随着技术的不断进步和应用的深入，数字化教学资源建设将在更多学科和领域发挥重要作用。

基金项目

2025 年度贵州省教学内容和课程体系改革项目 GZJG2025046；贵州大学 2025 年度本科智慧课程项目；贵州大学校级课程思政示范课程 kcsz2024004。

参考文献

- [1] 中国金属学会. 智能冶金发展白皮书 2023 [R]. 2023.
- [2] Wang, L., et al. (2021) Virtual Reality in Metallurgical Education. *JOM*, No. 6, 45-52.
- [3] 太原理工大学. 对标一流促转型智能引领育新才——冶金工程系赴北科大开展人才培养专题调研[EB/OL]. <https://cl.tyut.edu.cn/info/1048/9935.htm>, 2025-05-09.
- [4] 江西理工大学. 深耕“AI + 特色产业”新赛道, 江西理工大学首推“DeepSeek + 矿冶机械”课程[EB/OL]. <https://www.toutiao.com/article/7478897916984181284/?wid=1768460363830>, 2025-03-07.
- [5] 内蒙古科技大学. AI 赋能传统专业创新工科教育模式[N]. 中国教育报(电子版), 2025-06-13.
- [6] 李洪桂. 冶金原理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [7] 张训鹏, 等. 冶金工程概论[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005.
- [8] 张艳玲, 王福明. 冶金物理化学课程教学方法改革的探索[J]. 中国冶金教育, 2010(2): 24-26.
- [9] 赵烁, 吕静彩, 柴保明, 等. 冶金专业核心课程学习效果影响因素调查——以《冶金原理》为例[J]. 河北工程大学学报(社会科学版), 2019, 36(3): 102-106.
- [10] 教育部. 虚拟仿真实验教学课程建设指南[Z]. 教高厅[2022] 3 号, 2022.
- [11] 孟雁, 陈璐, 刘孟奇. 创新型人才工程思维能力培养资源要素建设机制[J]. 高等工程教育研究, 2025(2): 48-54.
- [12] 刘树鑫, 曾亮, 梁辉. 基于数字经济背景下 IT 专业大学生的创新潜能挖掘研究[J]. 智库时代, 2019(31): 131-132.