

金相组织智能识别技术在材料工程教学中的应用与实践

——以《材料科学基础》课程为例

米晓希*, 罗晓东, 董季玲, 彭 鹏

重庆科技大学冶金与动力工程学院, 重庆

收稿日期: 2026年9月6日; 录用日期: 2026年10月14日; 发布日期: 2026年10月23日

摘 要

金相组织识别是材料工程专业教学的核心内容之一, 但其抽象性、复杂性及相似性高等特点, 导致传统教学中存在学生接受度低、学习门槛高、实践效果差等问题。为解决这一教学难题, 本文将合金金相智能识别技术引入《材料科学基础》课堂教学, 通过课堂搭建“钢铁组织金相智能识别模型”、组织学生参与模型训练、开展模型与学生识别效果比拼等教学实践, 探索智能化教学模式对提升教学效率与质量的作用。研究表明, 借助卷积神经网络等AI技术, 能够有效降低金相组织识别的学习难度, 激发学生学习兴趣, 显著提升学生对金相组织知识的理解与应用能力, 为材料工程专业课程教改提供了新思路与实践参考。

关键词

金相智能识别, 材料科学基础, 卷积神经网络, 教学改革, 实践教学

Application and Practice of Intelligent Metallographic Structure Recognition Technology in Materials Engineering Teaching

—A Case Study of the Course “Fundamentals of Materials Science”

Xiaoxi Mi*, Xiaodong Luo, Jiling Dong, Peng Peng

School of Metallurgy and Power Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

*通讯作者。

文章引用: 米晓希, 罗晓东, 董季玲, 彭鹏. 金相组织智能识别技术在材料工程教学中的应用与实践[J]. 创新教育研究, 2026, 14(10): 424-430. DOI: 10.12677/ces.2026.1410806

Received: September 6, 2026; accepted: October 14, 2026; published: October 23, 2026

Abstract

Metallographic structure recognition is a core component of materials engineering education. However, its abstract nature, inherent complexity, and the high similarity among various microstructures often lead to low student acceptance, a steep learning curve, and unsatisfactory practical outcomes in traditional teaching settings. To address these pedagogical challenges, this study introduces an intelligent recognition system for alloy metallographic structures into the classroom teaching of Fundamentals of Materials Science. Through a series of instructional practices—including the in-class construction of an “intelligent recognition model for steel microstructures”, student participation in model training, and comparative competitions between the model and students—this paper explores the effectiveness of intelligent teaching models in enhancing instructional efficiency and quality. The results demonstrate that the adoption of AI techniques, particularly convolutional neural networks, can effectively reduce the difficulty of learning metallographic structure recognition, stimulate student interest, and significantly improve their understanding and application skills. This study offers new insights and practical references for the reform of materials engineering curricula.

Keywords

Intelligent Metallographic Recognition, Fundamentals of Materials Science, Convolutional Neural Networks, Teaching Reform, Practical Teaching

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. 现状分析：材料工程教学中金相组织识别的困境与需求

金相组织是材料内部结构的直观体现，其形态、尺寸及分布直接决定了材料的力学性能、物理性能及化学性能，因此，准确识别金相组织是材料工程专业学生必须掌握的核心技能之一。然而，在传统教学模式中，金相组织识别教学面临着诸多难以突破的困境。金相组织具有高度的抽象性与复杂性。不同合金材料(如钢铁、铝合金、铜合金等)的金相组织形态差异显著，即使是同一种钢铁材料，在不同热处理工艺(退火、正火、淬火、回火)下，也会形成珠光体、铁素体、马氏体、贝氏体等多种组织，这些组织的形态往往呈现出不规则性，部分组织(如索氏体与屈氏体)在光学显微镜下的差异极小，仅依靠肉眼难以准确分辨。这种抽象性与复杂性使得学生在学习过程中难以建立直观的认知，对组织特征的理解往往停留在书本文字描述层面，无法将理论知识与实际组织形态有效结合[1]。

其次，传统教学模式依赖“书本 + 显微镜”，学习门槛高且效率低。在传统教学中，教师通常先通过教材或 PPT 展示金相组织照片，讲解组织特征及识别要点，随后组织学生在实验室通过显微镜观察金相样品。这种教学方式存在两大问题：一方面，学生需要具备扎实的理论基础和丰富的实践经验才能准确识别金相组织，对于刚接触该领域的学生而言，学习门槛极高，容易产生畏难情绪，导致学生接受度低。另一方面，实验室显微镜数量有限，学生往往需要排队等待观察，且单次观察时间较短，难以对多种金相组织进行反复对比学习，教学效率低下，无法满足学生个性化学习需求[2]。

再者，准确识别金相组织是材料工程领域实践应用的关键需求。在材料研发、质量检测、失效分析等实际工作中，金相组织识别是判断材料性能、评估工艺合理性、分析故障原因的重要依据。例如，在机械制造行业，通过识别钢铁材料的金相组织，可以判断其热处理工艺是否达标，进而确保零部件的使用性能与安全性。若学生在学习阶段无法熟练掌握金相组织识别技能，将难以满足未来职业岗位的需求，影响其职业发展。

面对上述教学困境与实践需求，传统的“照本宣科 + 显微镜观察”教学模式已难以适应现代材料工程专业人才培养的要求，亟需一种能够降低认知门槛、强化直观理解、同时兼顾实践训练的新型教学模式。随着人工智能技术的快速发展，卷积神经网络(CNN)等深度学习算法在图像识别领域展现出强大的优势，能够实现对复杂图像的高效、准确识别[3]。将合金金相智能识别技术引入材料工程教学，改变传统授课方式，借助 AI 手段帮助学生快速理解并掌握金相组织识别技能，提升教学效率与效果，已成为材料工程专业课程教改的重要方向，具有重要的理论意义与实践价值。

2. 教学应用策略：课堂搭建钢铁组织金相智能识别模型

为实现人工智能与材料工程教学的深度融合，本文提出以“学生为中心、实践为导向”的教学策略，通过在《材料科学基础》课堂中引导学生利用卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)搭建“钢铁组织金相智能识别模型”，在实践中强化金相知识学习，整个教学实践环节流程如图 1 所示。



Figure 1. Practical workflow of intelligent metallographic microstructure recognition technology in materials engineering teaching
图 1. 金相组织智能识别技术在材料工程教学中实践流程

教学前,教师需提供计算机、显微镜和深度学习环境等必要条件,并通过简要的理论授课介绍 CNN 原理、图像识别流程及常见金相组织特征,为学生后续操作奠定基础。在模型搭建环节,学生分组采集不同热处理状态下的金相图像,并进行清洗、标注和训练集划分。随后在教师指导下构建 CNN 模型,理解卷积、池化等参数设置,并结合组织特征进行结构调整;在训练过程中设置合适的学习率和迭代次数,利用可视化工具监控模型性能,分析出现的过拟合或欠拟合问题;最后通过准确率、精确率和召回率等指标对模型进行测试,并尝试利用数据增强或网络结构优化提升模型效果[4][5]。

教学数据集来源于教师科研实验采集的典型牌号钢铁金相图像,涵盖退火、正火、淬火、回火等不同热处理状态下的珠光体、铁素体、马氏体、贝氏体、索氏体、屈氏体等典型组织。经预处理后,得到光学显微镜金相组织($50\times\sim1000\times$)图像 200 张。由 3 名材料专业教师依据 GB/T 13298—2015《金属显微组织检验方法》进行独立标注。数据集按 7:2:1 的比例随机划分为训练集、验证集和测试集。模型以经典卷积神经网络为基础架构,整体结构为:输入层($224\times224\times3$)→4 个卷积模块→全局平均池化层→全连接层→Softmax 输出层。卷积核尺寸统一为 3×3 ,卷积核数量依次为 32、64、128、256,池化窗口为 2×2 ,步长为 2。模型训练采用 Adam 优化器,初始学习率设为 1×10^{-3} ;批大小(batch size)为 32;最大迭代轮数(epoch)为 100,全连接层神经元数为 128,Dropout 比例为 0.5,输出层节点数与组织类别数一致(本教学实践为 6 类)。

在这一过程中,金相知识的学习被自然地融入模型实践中。学生在数据采集与标注时需区分珠光体、铁素体、马氏体等典型组织形态,在模型训练和优化中则需要结合组织学知识分析识别结果与图像特征的关系,从而实现“在做中学”。模型运行后,学生将未标注图像输入模型,观察识别结果并记录误差,通过分析屈氏体与索氏体等易混淆组织的差异,诊断模型不足并提出改进思路。在后续优化阶段,学生结合专业知识提出三类改进措施:一是数据优化,通过重新制备样品、扩充数据和使用增强技术提高数据质量与均衡性;二是特征优化,利用图像分析提取片层间距、面积分数等定量信息,或采用边缘检测算法突出针状结构,提升特征表达能力;三是参数优化,结合训练情况调整卷积层数、卷积核大小、dropout 比例及学习率等,提升模型的泛化与收敛性能。

经过学生的全程参与和反复调优,模型识别准确率由初始约 75%提升至 92%以上,显著增强了识别能力。更为重要的是,学生在模型搭建、运行与优化过程中深化了对金相组织的理解与应用,培养了实践能力、创新思维与团队协作精神。通过这一教学模式,人工智能技术与材料工程教育实现了有效结合,既推动了教学方式的创新,也提升了学生的综合素质。

3. 模型运行与训练及教学成效分析

3.1. 课堂实践效果

模型的运行与训练是人工智能技术与材料工程专业知识深度融合的关键环节。通过组织学生全程参与模型运行与优化,不仅能够提升金相组织智能识别模型的精度,还能在实践中强化学生的专业理解与问题解决能力。模型搭建完成后,学生将未标注的钢铁金相图像输入模型,观察识别结果并记录误判案例。随后结合所学知识进行问题诊断,例如屈氏体与索氏体因片层粗细差异被混淆,铁素体因杂质干扰被误判为珠光体。通过这种方式,学生能够在实时监测和诊断中加深对组织特征的敏感度。

在训练优化阶段,学生以小组为单位提出改进方案:首先进行数据优化,重新制备和采集高质量样品,利用数据增强扩充数量不足的类别,提升训练集的均衡性;其次进行特征优化,借助图像分析提取片层间距、面积分数等定量特征,或采用边缘检测突出针状结构,以提升模型的识别能力;最后进行参数优化,结合过拟合或欠拟合情况,调整卷积层数、卷积核大小、dropout 比例及学习率等关键参数。经过学生的反复调试,模型训练识别准确率由约 75%提升至 92%以上,显示出明显的优化成效。

为增强学习兴趣，教学中设计了“模型识别 VS 学生识别”比拼环节。实验室随机选取 30 个不同热处理状态下的钢铁金相样品，要求学生分组识别并与优化后的模型进行比对。结果显示，学生识别准确率为 65%~85%，平均 75%，而模型识别准确率达到 92%，识别时间远短于人工。比拼不仅让学生直观感受 AI 的高效与客观，也促使其反思自身不足，培养了“人机协同”的思维。

3.2. 教学效果分析

为系统评估基于金相智能识别技术的新型教学模式的实际效果，本研究以作者所在院校《材料科学基础》两个平行教学班为对象，实验班 42 人、对照班 43 人，共 85 人。分组按自然行政班进行。从理论掌握、实践能力、学习体验三个维度，对实验班与对照班的教学效果进行了综合对比分析。

(1) 理论考核成绩对比

在课程理论考核环节，两班采用统一的试卷进行闭卷考试，试卷内容涵盖金相组织基础知识(组织形态特征、形成条件、性能对应关系)及案例分析题。统计结果显示，实验班平均分为 82.5 分(满分 100 分)，对照班平均分为 68.3 分，实验班高出 14.2 分。进一步分析各题型得分情况发现，实验班在“金相组织特征描述”和“组织 - 工艺 - 性能关系分析”两类题目上的优势尤为明显，分别高出对照班 18.6%和 21.3%。这表明，通过在模型搭建与训练过程中反复观察、标注和诊断金相图像，学生对组织特征的记忆不再是机械背诵，而是建立了可视化的认知图式，能够更灵活地将理论知识迁移至具体问题的分析中。

(2) 实践操作能力对比

实践考核环节要求学生在规定时间内，利用光学显微镜对 30 个未知热处理状态的钢铁金相样品进行识别与判定，并写出判断依据。实验班学生平均识别准确率为 81%，对照班为 65%，实验班高出 16 个百分点。值得注意的是，在区分难度较高的组织对(如索氏体与屈氏体、上贝氏体与下贝氏体)时，实验班的识别准确率分别为 74%和 68%，而对照班仅为 52%和 47%，差距进一步拉大至 20 个百分点以上。这一结果说明，传统教学中学生缺乏对易混淆组织的对比观察机会，而实验班学生在模型优化阶段通过分析误判案例、调整特征提取策略，对组织差异的敏感度得到了系统性训练，从而在实践操作中表现出更强的辨别能力。

(3) 学习体验与态度问卷分析

课程结束后，课题组对两班学生进行了匿名问卷调查(共发放问卷 85 份，回收有效问卷 82 份，有效率 96.5%)，涵盖学习兴趣、课程难度感受、自主学习意愿、跨学科能力认知等维度，结果如表 1 所示。

Table 1. Comparison of questionnaire survey results between the experimental class and the control class
表 1. 实验班与对照班问卷调查结果对比

调查项目	实验班(认可比例)	对照班(认可比例)
对课程内容感兴趣	88.4%	61.0%
金相组织区分能力明显提升	83.7%	55.0%
愿意课后自主学习相关知识	79.1%	48.8%
认为掌握了跨学科(AI + 材料)技能	86.0%	23.3%
课程难度可接受	76.7%	58.5%

数据显示，实验班在各项指标上均显著优于对照班，尤其在“跨学科技能掌握”维度上差距最为悬殊(86.0% vs 23.3%)，反映出传统教学模式几乎不涉及 AI 工具的使用，而新型模式使学生获得了实实在在的跨学科能力提升。此外，实验班 76.7%的学生认为课程难度可接受，说明 AI 工具的引入并未增加学习负担，反而通过降低金相识别的认知门槛，使学生能以更直观的方式掌握核心知识。

3.3. 比拼环节的教学意义

“模型识别 VS 学生识别效果比拼”环节不仅是对教学效果的检验，更是对学生学习积极性的激发与学习能力的提升。一方面，通过与模型的比拼，学生能够直观感受到自身在金相组织识别方面的优势与不足：当学生识别准确率较高时，能够增强其学习自信心；当学生识别准确率低于模型时，能够激发其学习动力，促使其反思自身在知识掌握方面的薄弱环节。另一方面，通过分析比拼结果，学生能够深入理解 AI 技术在金相组织识别中的优势(高效、准确、客观)，以及人类在复杂问题分析、罕见情况判断等方面的优势，培养其“人机协同”的思维意识，为未来在工作中合理运用 AI 技术奠定基础。此外，比拼环节还能促进学生之间的交流与合作，提升其团队协作能力与竞争意识，丰富教学形式，营造活跃的课堂氛围。

3.4. 金相组织智能识别在课堂教学应用中的成效讨论

本模式对软硬件资源与师资能力要求较高：需配备计算机、GPU 算力及深度学习环境，教师亦须具备 CNN 基础与编程指导能力，否则难以推广。同时，模型搭建、调参与优化可能给学生带来额外认知负荷，对编程基础薄弱者尤为明显。因此，“人机协同”并非简单依赖 AI，而应培养学生批判性使用 AI 工具的能力——既理解其高效、客观的优势，也认识其在罕见组织与边界样本上的局限。在金相判读中，人的经验判断在样品制备异常、组织形态罕见及综合工艺推断等情形下仍不可替代。未来应通过分层教学与简化工具包，平衡技术赋能与认知负担。

此外，本模式仍有改进空间：一是降低编程门槛，开发简化工具包并实施分层教学；二是扩展识别范围，建立多合金金相图像数据库；三是强化“人机协同”，避免过度依赖模型，强调独立分析与结果纠错；四是优化实验资源配置，提升计算与样品制备效率。综上，基于 AI 的金相智能识别教学模式实现了模型搭建、运行优化与人机比拼的有机结合，有效提升了学生的理论掌握、实践技能与跨学科能力，为材料工程教学提供了可复制路径，并为“AI+ 虚拟金相实验室”及教学资源共享奠定了基础。

4. 结语

合金金相组织识别是材料工程专业教学的核心难点，传统教学模式因受限于“抽象性高、门槛高、效率低”的问题，难以满足现代人才培养对实践能力与跨学科思维的需求。本文以《材料科学基础》课程教学为例，通过将卷积神经网络为核心的金相智能识别技术引入教学，设计“模型搭建 - 参与训练 - 效果比拼”的实践教学流程，实现了 AI 技术与材料工程专业知识的深度融合。

教学实践结果表明，该模式不仅有效降低了金相组织识别的学习难度，提升了学生的理论掌握程度与实践操作能力，还培养了学生的跨学科应用思维与“人机协同”意识，为材料工程专业课程教改提供了可复制、可推广的实践方案。同时，通过分析教学过程中的不足，提出了降低 AI 学习门槛、扩充模型识别范围、强化主观判断能力、优化资源配置等改进方向，为后续教学优化提供了明确思路。

未来，随着 AI 技术的持续发展，可进一步探索更先进的深度学习算法在金相识别中的应用，结合虚拟仿真技术构建“AI+ 虚拟金相实验室”，实现线上线下融合的教学模式。同时，可将教学实践中积累的“多合金金相图像数据库”与“简化模型工具包”共享至高校材料工程专业教学资源平台，推动行业内教学资源的共建共享，助力材料工程领域高素质、创新型人才的培养。

基金项目

本论文的工作获 2024 年中国冶金教育学会教育教学研究一般项目“AI 智能识别金相图像系统探讨”(YJJY2024046YB)；2026 年度重庆市高等教育教学改革研究项目“AI 赋能与产教融合下多专业适配热工

课程四位一体教学改革”(cqjg263214); 2023 年度重庆市教育科学规划课题“应用型本科高校卓越工程人才培养路径研究”(K23YD2150088); 重庆科技大学研究生教育教学改革研究项目“应用导向型研究生教材建设与课程教学共建机制探索与实践——以《材料研究方法》为例”(YJG2023y010)等基金项目支持。

参考文献

- [1] 陈鹰. 人工智能在钢铁材料微观组织分析中的应用与展望[J]. 中国体视学与图像分析, 2022, 27(1): 47-54.
- [2] 朱云龙, 梁智刚, 周源. 材料专业学生技能教育在教改策略中的对策应用[J]. 塑料工业, 2024, 52(7): 188-189.
- [3] 张佳宁, 吴赵波, 张梦, 等. 钢铁材料微观组织人工智能分析研究[C]//中国体视学学会. 第十七届中国体视学与图像分析学术会议论文集. 2022: 120.
- [4] 陈德, 齐彪, 胡晴莽, 等. 钢材晶粒度评级的人工智能研究和应用[J]. 理化检验-物理分册, 2025, 61(5): 14-20.
- [5] 沈园竣, 马飞跃, 谭廖麟. 人工智能识别在金相检验中的发展现状与展望[J]. 物理测试, 2024, 42(3): 59-63.