

新工科背景下“AI + 增材制造”课程进阶式教学探索与实践

张勤号*, 任 潞, 所新坤

宁波大学机械工程与智能制造学院, 浙江 宁波

收稿日期: 2026年8月10日; 录用日期: 2026年9月10日; 发布日期: 2026年9月17日

摘 要

随着智能制造的快速发展与“制造强国”战略的深入推进, 现代制造业对增材制造复合型人才提出了更高要求。针对《增材制造技术》课程中知识更新滞后、传统减材思维固化及理论与工程实践脱节等问题, 本文立足“新工科”理念, 将成果导向教育、项目式学习和翻转课堂等方法与课程特点相结合, 构建以“人工智能(AI)赋能 + 面向增材制造设计(DfAM)思维重塑”为主线的进阶式教学模式。通过重构AI与DfAM融合的教学内容、建设区域产业工程案例库, 并构建过程性与多元化相结合的评价机制, 将AI工具融入方案设计、参数分析、缺陷图像分析与迭代优化等教学任务。课程实践显示, 该模式具有较好的可实施性, 有助于促进多学科知识融合及数字化工具在复杂工程问题中的应用。研究体现了成熟教学方法在增材制造课程中的系统集成与情境化应用, 可为先进制造类课程教学改革提供参考。

关键词

《增材制造技术》, 新工科, 人工智能, 面向增材制造设计(DfAM), 教学改革

Exploration and Practice of a Progressive “AI + Additive Manufacturing” Teaching Model in the Context of Emerging Engineering Education

Qinhao Zhang*, Lu Ren, Xinkun Suo

School of Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing, Ningbo University, Ningbo Zhejiang

Received: August 10, 2026; accepted: September 10, 2026; published: September 17, 2026

*第一作者。

文章引用: 张勤号, 任潞, 所新坤. 新工科背景下“AI + 增材制造”课程进阶式教学探索与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(9): 1284-1291. DOI: 10.12677/ae.2026.1692022

Abstract

With the rapid development of intelligent manufacturing and the continued advancement of China's strategy of building a manufacturing powerhouse, modern manufacturing has placed higher demands on interdisciplinary professionals in additive manufacturing. To address problems in the *Additive Manufacturing Technology* course, including delayed knowledge updates, entrenched subtractive-manufacturing mindsets, and the disconnect between theoretical instruction and engineering practice, this study, guided by the principles of Emerging Engineering Education, integrates established pedagogical approaches such as outcome-based education, project-based learning, and flipped learning with the characteristics of additive manufacturing education, and develops a progressive teaching model centered on "Artificial Intelligence (AI)-enabled learning and Design for Additive Manufacturing (DfAM)-oriented mindset transformation". The reform restructures teaching content by integrating AI with DfAM, develops an engineering case library based on regional industries, and improves the process-oriented and diversified assessment system. AI tools are incorporated into teaching tasks such as design, process-parameter analysis, defect-image analysis, and design optimization. Teaching practice shows that this model facilitates interdisciplinary knowledge integration and enhances students' ability to use digital tools to analyze and solve complex engineering problems. The study demonstrates the systematic integration and contextualized application of established teaching methods in additive manufacturing education and provides a useful reference for teaching reform in advanced manufacturing courses.

Keywords

Additive Manufacturing Technology, Emerging Engineering Education, Artificial Intelligence, Design for Additive Manufacturing (DfAM), Teaching Reform

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

增材制造技术(Additive Manufacturing, AM, 即 3D 打印)通过材料逐层累加实现复杂三维结构成形,突破了传统模具成形与切削加工的部分几何约束,正推动制造业向数字化、智能化和个性化方向发展[1]。随着我国制造业转型升级,航空航天、生物医药、高端模具及新能源汽车等领域对掌握增材制造设计、工艺及数字化分析方法的复合型工程人才提出了更高要求。新工科建设强调面向产业发展和技术变革,培养具有工程实践、跨学科知识整合和复杂工程问题解决能力的工程人才[2] [3]。

《增材制造技术》是机械工程、智能制造工程及材料成型等专业的重要课程,其教学内容具有更新快、交叉性强和实践要求高等特点[4]。然而,当前部分高校相关课程仍主要围绕基本工艺原理和设备操作展开,在面向增材制造的设计(DfAM)、人工智能(AI)与数字化工具应用以及真实工程问题引入等方面仍有不足[5] [6]。特别是在工业级增材制造设备使用成本较高的情况下,如何利用数字化工具和工程案例拓展实践教学深度,是课程改革需要重点解决的问题。

成果导向教育(OBE)、项目式学习(PBL)等方法已在工程教育领域得到较为广泛的应用[7] [8],因此本文并非提出一种新的教学方法,而是结合增材制造课程数字化程度高、知识更新快、学科交叉性强等特点,对上述成熟方法进行系统集成与情境化应用。课程将 AI 辅助分析、DfAM 设计、数字仿真和区域产

业案例融入教学任务与评价过程,形成“基础认知 - DfAM 设计 - AI 辅助分析 - 综合工程实践”的进阶式教学路径,以提高学生运用数字化工具分析和解决复杂增材制造问题的能力。

2. 课程建设现状与改革目标

2.1. 课程教学面临的核心痛点

结合长三角地区特别是宁波制造业对高端应用型、复合型工程人才的需求,当前《增材制造技术》课程教学主要存在以下三个方面的衔接不足:

(1) 课程内容更新与产业技术快速迭代的脱节。增材制造与 AI 技术快速发展,新材料、新工艺不断涌现。但部分教材和教学内容仍主要集中于熔融沉积成形(FDM)、立体光固化成形(SLA)等典型工艺的基本原理介绍和设备基础操作,对 AI 辅助设计、拓扑优化、生成式设计以及数据驱动工艺控制等数字化与智能化技术涉及不足,使教学内容与产业技术发展存在一定距离。

(2) 传统设计思维与跨学科融合需求的脱节。学生在前期传统制造课程训练中形成的设计习惯,往往更加关注刀具可达性、拔模等传统工艺约束,对复杂内流道、点阵结构和一体化设计等增材制造特有设计空间认识不足,从而限制 DfAM 思维的形成和增材制造优势的发挥。

(3) 工程实践深度与复杂工程问题解决能力培养的脱节。受金属增材制造设备、粉末材料和成形周期等条件限制,部分课程实践仍停留在简单模型或标准试件打印层面,学生较少经历结构设计、工艺分析、仿真验证、制造评价和方案迭代的完整过程,难以形成解决真实工程问题所需的系统分析能力。

2.2. 课程改革目标

基于 OBE 理念与逆向教学设计思路,课程改革在保证基础知识教学的基础上,进一步强化能力培养。除掌握典型增材制造工艺、材料和设备基础知识外,重点培养学生的 DfAM 设计、数字化分析和综合工程实践能力,使其能够围绕具体工程对象完成需求分析、结构设计、工艺选择、仿真验证和方案评价。

课程同时结合区域制造业需求建设工程案例,将模具、汽车零部件和高端装备等实际问题引入课堂,在实体实践条件有限的情况下,利用 AI、CAE 等数字化工具拓展工程训练的深度。按照知识认知、设计应用、数字化分析和综合素养四个层次设置课程目标,具体见表 1。

Table 1. Course objectives and distribution of assessment weights for *Additive Manufacturing Technology*
表 1. 《增材制造技术》课程目标及考核分值分配

序号	具体内容	分值/分
课程目标 1	掌握典型增材制造工艺的基本原理、材料特点及应用范围。	15
课程目标 2	掌握 DfAM 设计方法,能够进行结构优化与工艺选择。	25
课程目标 3	能够运用 AI、CAE 及其他数字化工具完成复杂零件的设计、仿真与方案优化。	45
课程目标 4	具备团队协作、成果表达及基本工程责任意识。	15

其中课程目标 3 是能力培养重点,突出数字化工具应用和复杂工程问题分析;课程目标 4 贯穿团队项目、阶段汇报与成果展示。需要说明的是,表 1 中的分值表示各课程目标在课程总成绩中的权重,并非具体考核方式的比例。各课程目标通过不同的过程性和终结性考核项目进行评价,形成“课程目标 - 教学活动 - 评价证据”的对应关系,具体考核方式见第 4 节。围绕上述目标,课程进一步对教学内容和教学活动进行组织。

3. 进阶式教学模式的探索与实施

针对上述问题，课程组围绕增材制造工程问题解决过程，将 OBE、PBL、翻转课堂和案例教学等方法进行有机整合，并嵌入具体教学任务，形成以“AI 辅助分析 + DfAM 思维重塑”为主线的进阶式教学体系。

3.1. 重构“AI + DfAM”进阶式知识体系与教学模块

增材制造涉及机械、材料、控制和计算机等多学科知识。课程按照学生认知和能力形成规律，将教学内容划分为基础理论、DfAM 设计、AI 辅助分析与优化、综合项目实践四个层次。

模块一：基础原理与工艺解析(线上自主学习)。主要包括 FDM、SLA 等典型工艺原理、材料特性和设备组成。基础知识主要通过微课和线上资源进行学习，并结合课堂讨论进行巩固。

模块二：DfAM 设计思维重塑(线下课堂研讨)。围绕拓扑优化、点阵结构、复杂内流道和一体化设计等内容，通过传统结构与增材结构对比，引导学生由面向传统制造工艺的设计思维逐步转向面向增材制造的设计思维，理解结构设计自由度与可制造性之间的关系。

模块三：AI 辅助分析与优化(跨学科知识拓展与任务训练)。课程不要求学生进行复杂 AI 算法开发，而是通过典型数据和案例，使其理解监督学习中“数据输入 - 特征提取 - 模型训练 - 预测输出”的基本流程，以及回归和分类方法在工艺参数分析和缺陷识别中的应用思路。学生通过给定数据分析激光功率、扫描速度与成形质量之间的关系，并结合典型缺陷图像理解机器视觉分类结果及其评价方法。

在工具应用方面，课程引入 DeepSeek、豆包等生成式 AI 工具，以及 ANSYS、Materialise Magics 等数字化软件。生成式 AI 主要用于辅助需求拆解、方案构思和数据处理思路形成；ANSYS 用于结构、热过程及拓扑优化分析；Magics 用于模型检查、成形方向优化、支撑设计和材料用量评估，形成“方案生成 - 性能验证 - 可制造性评价”的工具链。AI 输出需通过理论分析、CAE 仿真、实验数据或文献依据进行验证，不能直接作为最终结论。

模块四：综合项目实践(综合能力检验)。选择轻量化承力支架、随形冷却流道、汽车结构件等工程对象，以团队 PBL 形式完成设计、分析、制造评价，并根据设备条件选择代表性方案开展实体制造与测试。学生需综合运用前述 DfAM 设计方法、AI 辅助工具和 CAE 软件完成工程任务。

以轻量化承力支架为例，教师给定安装空间、载荷、约束条件和减重要求，学生利用生成式 AI 辅助需求拆解和方案构思，提出若干初步构型，再利用 ANSYS 进行拓扑优化和力学验证，对质量、应力和变形进行比较；随后利用 Magics 分析成形方向、悬垂区域和支撑需求。若出现减重效果较好但局部应力过高、结构性能合理但支撑量过大等情况，则返回设计阶段修改，并再次进行仿真和可制造性评价，完成至少两轮方案迭代。

Table 2. Four-stage teaching modules and main tasks of “AI + DfAM”

表 2. “AI + DfAM” 四阶教学模块及主要任务

教学模块	主要内容	学习活动	评价依据
基础理论	典型增材制造工艺原理、材料特性及设备组成	微课学习、课堂讨论	在线测试、学习记录
DfAM 设计	拓扑优化、点阵结构和一体化设计	案例分析、结构设计	三维模型、设计说明
AI 辅助分析与优化	生成式 AI 辅助构思、工艺参数分析、典型缺陷图像分析及结果验证	AI 辅助分析、数据处理、CAE 验证及方案迭代	任务记录、结果验证、分析报告及迭代说明
项目实践	综合设计、仿真、可制造性分析、代表性方案制造与测试	团队 PBL 项目、工程方案实施	项目报告、过程记录、成果展示与答辩

为明确各阶段的教学内容、学习活动及评价依据，课程组进一步对四个教学模块进行了任务分解，具体安排见表 2。

由表 2 可见，课程按照“理论认知 - 设计应用 - 智能分析 - 工程实践”逐步提高学习任务的复杂程度，各模块通过工程任务相互衔接，而非简单并列设置。

3.2. 建设基于区域产业的工程案例库

为解决工程实践素材不足的问题，课程组结合宁波模具、汽车零部件及高端制造产业特点，从企业和科研项目中筛选可转化为教学内容的工程问题。案例建设遵循“来源真实、难度适中、过程完整”的原则，并根据本科生知识基础对数据和工程条件进行适度简化。例如，将模具局部散热不均、冷却周期较长等工程问题转化为“基于选择性激光熔化(SLM)的随形冷却流道设计”案例，要求学生进行流道设计、热流体分析和工艺选择。以真实工程问题为牵引，将软件操作融入设计、分析和工艺决策过程，使学生认识结构设计、性能分析与增材制造工艺之间的相互制约关系。

课程设置的典型工程案例见表 3。

Table 3. Arrangement of typical engineering cases in the Additive Manufacturing Technology course
表 3. 《增材制造技术》课程典型工程案例安排

案例名称	主要教学任务	对应能力
随形冷却流道设计	流道建模、热流体仿真与工艺选择	DfAM 设计、热流体分析
轻量化承力支架	AI 辅助方案构思、拓扑优化与结构验证	AI 辅助设计、结构优化
点阵吸能结构	单胞设计、力学仿真与参数比较	结构 - 性能分析
多孔骨植入物	孔隙结构设计 with 可制造性分析	多孔结构设计、可制造性分析
增材制造缺陷分析	分析工艺参数与典型缺陷的关系	数据分析、质量控制
汽车结构件优化	完成减重设计、仿真评价与成本比较	综合工程实践

实际教学中根据课时和学生基础选择 2~3 个案例开展课堂分析，并选取其中 1 个作为团队综合项目，以保证案例学习深度。

3.3. 翻转课堂与行业资源结合的教学组织

为提高课堂时间利用效率，将部分基础知识和软件操作制作成 5~10 min 的微课视频，学生课前完成学习，课堂主要用于方案比较、问题讨论和工程分析。例如，将 Magics 支撑添加、ANSYS 网格划分等操作性内容前置，课堂则围绕 AI 辅助生成方案的合理性、不同拓扑结构的力学差异及工艺参数对制造质量的影响开展讨论。课程同时适当邀请企业工程师或相关领域专家参与课堂交流，从工程应用、产业需求和技术发展等角度补充课程内容。通过“课前基础学习 - 课堂问题研讨 - 项目综合应用”的组织方式，使有限课时更多用于高阶分析和工程决策。

4. 构建数字化与多元化考核评价体系

传统期末考试和实验报告主要反映学生对知识的掌握情况，对设计过程、数字化工具应用及复杂工程问题解决能力的评价相对有限。为此，课程采用过程性评价与终结性评价相结合的考核方式，其中过程性评价占 60%，终结性评价占 40%，兼顾知识掌握、学习过程和综合工程能力。需要说明的是，该比例反映的是考核方式构成，与表 1 中按照课程目标设置的分值权重属于不同维度。各类考核项目分别对

应一个或多个课程目标，共同支撑课程目标达成度评价。针对 AI 工具应用，不以是否使用 AI 或使用次数作为评分依据，而重点评价工具选择的合理性、AI 输出的验证与修正以及其对方案优化的实际作用。

4.1. 过程性与终结性评价

过程性评价占课程总成绩的 60%，包括课前学习、课堂讨论、阶段作业、仿真报告及团队项目，重点考查学生在学习过程中的知识应用、设计分析、数字化工具使用及团队协作能力。终结性评价占 40%，主要考查学生对增材制造基本原理、工艺特点及相关知识的综合理解与应用。阶段作业重点评价设计思路和修改过程；仿真报告评价模型、参数设置及结果分析；团队项目结合任务分工、过程记录和个人贡献进行评价。

对于 AI 辅助任务，学生需保留基本使用记录，包括使用目的、主要输入、AI 输出、人工修改及验证方式。教师重点考查学生是否能够发现不合理内容，并利用理论分析、CAE 仿真、实验数据或文献进行验证。未经核验直接采用 AI 输出的作业，在数字化工具应用评价中不得获得高等级。

4.2. 综合项目评价标准

综合项目采用教师评价与小组互评相结合的方式，并将项目过程记录及数字化分析结果作为重要评价依据。CAE 和制造分析软件输出的安全系数、减重率、支撑材料用量等指标主要用于不同方案的比较，最终评价仍需结合学生的设计依据、参数设置和结果解释。为体现 AI 辅助教学的实施效果，综合项目增加“AI 与数字化工具应用”评价维度，具体标准见表 4。

Table 4. Grading criteria for the comprehensive project
表 4. 综合项目分级评价标准

成绩等级	设计与仿真	AI 与数字化工具应用	报告与答辩	团队协作
90~100 分	方案合理， 仿真完整， 优化效果明显	工具选择合理，能独立验证 AI 输出 和 CAE 分析结果，并完成多轮迭代 优化，方案具有一定创新性	内容完整， 表达清楚， 分析深入	分工明确， 协作充分， 个人贡献清晰
80~89 分	方案基本合理， 仿真结果可信	能正确使用 AI 与 CAE 工具， 对主要结果进行验证，并完成方案 比较与优化	报告较完整， 答辩较清楚	分工较合理， 能够完成团队任务
70~79 分	能完成基本设计， 但分析深度不足	能完成基本工具操作，但结果验证、 方案迭代和结果解释不够充分	报告基本完整，部分 分析不充分	能参与项目， 但协作和贡献一般
70 分以下	设计或仿真存在 明显问题	工具使用不当或过度依赖 AI，缺少 结果验证，不能合理解释分析过程	报告不完整， 不能说明主要结果	分工混乱， 未完成相应任务

评价强调“合理使用 - 结果验证 - 方案迭代”，避免将软件操作熟练度或 AI 生成结果本身作为能力评价依据。

4.3. 教学成效调查与持续改进

课程组通过课程成绩、项目成果、问卷调查、学生访谈和课堂观察了解改革效果。问卷主要围绕教学内容、DfAM 能力、数字化工具、工程实践、团队协作和总体评价展开，见表 5。

数字化工具评价还关注学生能否判断 AI 输出可靠性、能否通过 CAE 或其他证据验证 AI 建议，以及 AI 是否促进方案比较和迭代。课程结束后，根据问卷、项目成果和学生反馈，对案例难度、课时安排、数字化资源及考核方式进行调整，形成“教学实施 - 学习评价 - 反馈分析 - 改进优化”的持续改进过程。

Table 5. Survey items for evaluating course teaching effectiveness
表 5. 课程教学成效调查项目

调查维度	调查内容	评价选项
教学内容	增材制造前沿内容设置	优秀、良好、一般、需改进
DfAM 能力	DfAM 结构设计与优化训练	优秀、良好、一般、需改进
数字化工具	AI、CAE 数字化工具应用	优秀、良好、一般、需改进
工程实践	工程问题分析训练	优秀、良好、一般、需改进
团队协作	团队沟通与协作	优秀、良好、一般、需改进
总体评价	课程总体教学效果	优秀、良好、一般、需改进

5. 局限性与展望

本研究仍存在一定局限性。课程案例主要来源于宁波及长三角地区模具、汽车零部件和高端装备等产业场景，具有一定的区域产业特征，同时课程实施对 ANSYS、Magics 等数字化工具及增材制造设备条件具有一定依赖。因此，在其他高校推广时，需要结合当地产业基础、专业方向和软硬件条件，对案例内容和实践方式进行调整。

此外，目前教学改革效果主要依据课程成绩、项目成果、问卷和课堂观察进行评价，对学生工程能力的长期影响仍缺少持续跟踪。后续将扩大不同专业和不同届次学生的样本范围，开展更长期的对比评价，并根据 AI 与数字化制造技术的发展持续更新教学任务和工程案例。

6. 结语

面向智能制造与数字化技术快速发展的需求，本研究结合《增材制造技术》课程特点，将 OBE、PBL、翻转课堂等成熟教学方法与 AI 辅助分析、DfAM 设计及工程案例相融合，形成由理论认知、设计应用、AI 辅助分析到综合工程实践逐步递进的教学路径。课程实施显示，该模式能够较好地将增材制造知识、数字化工具与工程问题结合起来，为学生开展复杂工程问题分析和方案优化提供支持。本研究并非提出一种全新的教学方法，而是在增材制造课程场景下对多种成熟教学方法进行系统集成与情境化应用，并将 AI、DfAM 和工程案例落实到具体教学任务与评价过程中，可为新工科背景下先进制造类课程教学改革提供参考。

基金项目

宁波大学教学改革研究一般项目“AI 赋能与虚实融合驱动的《增材制造技术》课程教学改革与实践”(JYXM2026086)；浙江省高等教育学会 2026 年度高等教育研究课题“新工科视域下机械工程专业复合型人才培养模式探究”(编号：2503063234)；宁波大学跨学科人才培养项目“运筹学与最优化方法”；宁波大学通识选修核心课程建设项目“工程优化方法”。

参考文献

[1] 张立浩, 钱波, 张朝瑞, 等. 金属增材制造技术发展趋势综述[J]. 材料科学与工艺, 2022, 30(1): 42-52.
[2] 庞中华, 张晶, 赵亚利. 人工智能+视域下民办高校机械类专业“新工科”人才培养体系构建研究[J]. 教育科学理论, 2024, 2(4): 36-38.
[3] 于海峰. AI 赋能数字化教材与场景化教学模式的融合研究[J]. 产业与科技论坛, 2026, 25(5): 188-190.
[4] 李拓宇, 李飞, 陆国栋. 面向“中国制造 2025”的工程科技人才培养质量提升路径探析[J]. 高等工程教育研究,

2015, 63(6): 17-23.

- [5] 刘宏信, 聂洪波, 韦欣欣, 等. 新工科学生项目制学习探索与实践——以《增材制造技术》课程为例[J]. 教育进展, 2024, 14(10): 211-217.
- [6] 路颖颖. 产教融合视域下增材制造技术专业人才培养模式的优化路径探究[J]. 发展教育学, 2025, 6(1): 200-203.
- [7] 刘爽, 彭军, 杨帆, 等. 基于 OBE 理念的冶金传输原理课程作业改革[J]. 中国冶金教育, 2026(3): 52-54.
- [8] 秦立刚, 白玮. 指向工程教育的跨学科项目式学习实践探索[J]. 学校管理, 2026(1): 9-13.