

数据驱动的激光增材制造教学新范式：AI 与 ML 技术的融合、应用与挑战

马盼 龙均 李海超 张天理 梁瑛

上海工程技术大学材料科学与工程学院, 上海 201620

[摘要]激光增材制造（Laser Additive Manufacturing, LAM）凭借“分层制造、逐层叠加”的技术特性，成为各个领域个性化、复杂构件高效制造的核心技术支撑。目前 LAM 逐步向“数据驱动+智能决策”的现代化制造范式转型，这一转型中，人工智能（Artificial Intelligence, AI）与机器学习（Machine Learning, ML）扮演着关键角色。此时，将 AI 与 ML 系统融入激光增材制造课程体系，不仅是高等教育去顺应技术迭代的必然选择，更是衔接高校人才培养与工业需求、解决复合型人才短缺的核心路径。高校传统课程仍致力于“设备原理+工艺操作”的单一知识体系，这导致学生毕业后需长期岗位培训，形成人才培养与产业应用间的“技能断层”。基于此，本文立足智能制造产业发展需求与高等教育教学改革方向，系统分析 AI 与 ML 引入激光增材制造课程的必要性；重点从技术赋能与教学革新双重视角，阐述 AI 与 ML 对激光增材制造以及教学模式的双重价值；同时，结合高校教学实践现状，梳理融合过程中面临的硬件资源短缺、跨学科师资匮乏、课程体系碎片化、“重算法轻基础”认知偏差等现实问题，最终为激光增材制造相关课程的体系构建、内容设计、实践开展提供可落地的参考方案，助力高校培养高素质工程人才。

[关键词]人工智能；机器学习；增材制造；教学革新；智慧案例；路径体系

DOI: 10.33142/fme.v6i10.18131 中图分类号: G4 文献标识码: A

New Paradigm of Data-driven Laser Additive Manufacturing Teaching: Integration, Application, and Challenges of AI and ML Technologies

MA Pan, LONG Jun, LI Haichao, ZHANG Tianli, LIANG Ying

School of Materials Science and Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai, 201620, China

Abstract: Laser Additive Manufacturing (LAM), with its technical characteristics of "layered manufacturing and layer by layer stacking", has become the core technical support for personalized and efficient manufacturing of complex components in various fields. At present, LAM is gradually transitioning towards a modern manufacturing paradigm of "data-driven+intelligent decision-making", in which artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) play key roles. At this point, integrating AI and ML systems into the laser additive manufacturing curriculum is not only an inevitable choice for higher education to adapt to technological iteration, but also a core path to connect talent cultivation in universities with industrial needs and solve the shortage of composite talents. Traditional courses in universities still focus on a single knowledge system of "equipment principles + process operations", which leads to long-term job training for students after graduation, forming a "skill gap" between talent cultivation and industrial application. Based on this, this article focuses on the development needs of the intelligent manufacturing industry and the direction of higher education teaching reform, systematically analyzing the necessity of introducing AI and ML into laser additive manufacturing courses; Focusing on the dual perspectives of technological empowerment and educational innovation, this article elaborates on the dual value of AI and ML in laser additive manufacturing and teaching models; At the same time, based on the current situation of teaching practice in universities, we will sort out the practical problems faced in the integration process, such as hardware resource shortage, interdisciplinary teacher shortage, fragmented curriculum system, and cognitive bias of "emphasizing calculation over foundation". Ultimately, we will provide practical reference solutions for the system construction, content design, and practical implementation of laser additive manufacturing related courses, and help universities cultivate high-quality engineering talents.

Keywords: artificial intelligence; machine learning; additive manufacturing; teaching innovation; smart case studies; path system

引言

激光增材制造是材料加工专业的一门基础课程，其任务是使学生了解和掌握增材制造种类、不同增材制造方式工艺特点、所需材料及性能，初步具备根据不同的工程应用环境，选择适当增材制造方法，进而完成材料选择并制订工艺规程的能力。该课程包括典型增材制造工艺、增材制造常用材料、增材制造后处理等。该课程在培养高级工

程技术人才的全局中，让学生掌握未来新型制造模式的工艺原理和方法手段，拓宽学生的知识结构，增强学生对新机械工程技术工作的适应性，培养其面向未来的创新能力，探索和解决复杂增材制造过程中的工程技术问题^[1]。

增材制造是现代高端装备制造领域的革命性突破技术之一，其中，增材构件的批量生产和高可靠应用，关键在于制造可重复性、质量可靠性与性能可预测性^[2]。激

光增材制造可通过数据驱动模型破解参数耦合难题——例如,利用深度学习预测激光增材制造的成形组织性能,误差可控制在2%以内;通过强化学习动态优化扫描路径,减少构件变形。将AI与ML融入课程,能帮助学生理解“参数-过程-质量”的内在关联,建立“工程问题-算法模型-技术方案”的系统性思维,满足激光增材制造技术的跨学科需求。机器学习作为一种新型人工智能技术,可以加快增材制造各环节的研发进程,因而受到了学术界和工业界的广泛关注^[3]。而激光增材制造课程仍然采用传统的教学模式,教学评相互分离,难以适应新时代的要求。随着人工智能技术的飞跃发展,其强大的数据分析、个性化服务等能力为实现课程教学评一体化研究提供了重要技术支持^[4]。虚拟仿真软件、在线课程、数字教材等数字化教学资源如果不能得到有效的整合和利用,就难以充分发挥其价值,“教学做”一体化教学模式则会有效地整合这些丰富的教学资源,教师在教学过程中根据教学需求,灵活选取和组合各种教学资源,实现理论教学与实践教学的无缝对接^[5]。

1 学情分析

1.1 激光增材制造的学习

激光增材制造(LAM)作为增材制造的核心分支,学习内容聚焦“激光-材料-工艺-智能-应用”的深度融合,在增材制造基础上进一步强化激光技术特性与工程应用,具体学习要点可分为以下两方面:

其一,基础理论与激光核心知识的掌握。学生需扎实学习机械设计基础、工程力学、材料科学等核心理论,同时深入理解激光原理及激光设备核心组件的工作原理;系统掌握LAM的技术逻辑,明晰主流技术路线的工艺差异,具备分析激光数据(如激光功率、扫描速度对致密度、力学性能影响规律)的能力。

其二,核心技术与实操能力的培养。学生需熟练掌握激光增材设备的操作与维护,例如学习SLM(选择性激光熔化)、LMD(激光金属沉积)等激光增材设备的结构

组成,掌握设备调试与参数设置方法,了解常见设备故障的排查与维护流程;同时需具备三维建模与工艺规划、质量检测与缺陷控制等实操能力。

1.2 激光增材制造在传统教学的困境分析

激光增材技术是增材制造(俗称“3D打印”)的核心分支,以激光为能量源,遵循“分层制造、逐层叠加”的原理,将金属/陶瓷粉末、丝材等原材料精准熔凝,最终成形复杂三维构件。通过上述背景,可以发现传统LAM教学方式很难准确的向学生介绍生动的内容和方法。我们了解到传统的教学多讲基础设备原理和工艺,跟不上新型技术(如超高速激光增材制造),也没能融入AI工艺的优化、数字孪生等智能内容,还未能注重多学科融合,让学生的思维滞后,形成不了系统的认知。实践已然脱离了实际,小型设备模拟不了工业级的复杂场景,实践多是打印标准件,缺乏参数优化、质量检测的全流程训练;依赖物理实验,成本高,微观过程难以观测,效率低下。传统教学还侧重理论记忆,很少模拟工业真实问题,学生难以独立解决工程问题;未能引导创新思维,人工智能等工具应用较少,大大制约技术升级和创新。最后LAM需要大规模资源去支撑,工业级设备、检测设备贵,高校的配备能力有限,导致学生的实操机会少。师资大多是单一学科,缺乏懂激光、材料、AI的跨学科新型教师。

2 AI 引进教学的变革与发展

2.1 传统教学方法的转型: 知识授予到能力开发

学生学习状况的统计与分析,教学改革的当务之急是实现教学理念的彻底革新。在传统教学模式里,教学重点聚焦于知识点的传授,教师在讲台上滔滔不绝地讲解,学生则被动地接受知识灌输。这样的模式下,学生往往能理解教师所讲授的内容,却在实际应用时举步维艰。例如在物理学科中,学生对各种物理公式和原理背得滚瓜烂熟,可在面对生活中诸如电路故障排查、机械装置原理分析等实际问题时,却不知如何运用所学知识去解决。



图1 AI与ML辅助《增材制造技术及应用》课程教学方法改革与实践为核心主题总体框架

新的教学理念则发生了根本性的转变,将关注焦点从“教师传授了什么”切换至“学生能够完成什么”。这意味着教学不再仅仅是知识的单向传递,而是向能力的系统培养转变。在新的理念指引下,教师会通过创设各种真实或模拟的情境,让学生在解决实际问题的过程中,将所学知识进行整合运用。比如在项目式学习中,教师给定一个主题,如“设计并制作一个环保小产品”,学生需要综合运用多学科知识,从创意构思、设计图纸、选择材料到最终制作完成,这一过程不仅能让学生巩固知识,更能锻炼他们的问题解决能力、团队协作能力和创新能力,有效解决了传统教学中理论与实践脱节以及知识难以整合应用的核心难题。

该理念转变,旨在构建“需求导向、能力本位、持续改进”的教学体系。基于激光增材制造实际需求,明确各教学模块能力目标。像激光光路模块,学生既要掌握激光原理,还要会搭建、调试光路,能按材料和成型需求调激光参数;材料铺送模块,学生得了解材料特性,会选材料、操作铺送设备,确保材料稳定输送。

考虑到学生对人工智能技术接受度高,可把机器学习、计算机视觉等融入教学^[6]。这既能激发学习兴趣,又能培养面向未来的技术能力。利用人工智能做虚拟仿真,能把激光与材料作用时抽象的“能量吸收”等概念可视化,让学生看清成型效果。智能评测系统实时评估学生操作和模拟结果,给出改进建议。个性化指导能帮学生依据自身基础和兴趣,找到合适学习路径,获得充足实践机会,助力学生掌握激光增材制造技术,提升解决实际问题的能力。

2.2 人工智能引入课程案例

人工智能是教育技术的延伸,具有与工业革命相似甚至超越的意义。人工智能的崛起,标志着人类社会正迈向智能化时代,这给教育领域带来了前所未有的挑战和机遇。人工智能不仅是教育工具的革新,更是一场深刻的社会变革,它延伸和扩展了人类的大脑功能,改变了生产生活方式,甚至可能引发社会结构的剧变^[7]。

2.2.1 北京航空航天大学“增材制造工艺与装备”课程

北京航空航天大学在“增材制造工艺与装备”课程中,以 AI 技术为引擎对课程进行智慧化升级。课程团队梳理整合 600 余项课程素材,建设专属知识库和课程专属引擎,通过“前沿热点速查智能体与指令集”帮助学生快速获取研究前沿热点。同时,结合基础理论、工程实践、前沿技术构建五级知识体系图谱,基于 AI 为不同专业背景的学生精准推送核心知识点、关联研究问题及学习资源,量身定制学习路径。此外,课程还借助 AI 打造行业专家“数字智囊”,模拟专家视角解答学生疑问,并且在报告撰写环节为学生提供智能化辅助。

2.2.2 基于先进视觉语言模型的金属增材制造培训系统

NASA 的研究人员开发了一种针对雷尼绍 AM400 金

属打印机的创新培训系统,该系统在数字孪生框架^[8]内,利用先进视觉语言模型 (VLM) 与增强现实 (AR) 的协同作用。VLM 经过多种数据集的预训练,能够出色地处理多模态数据,为学员提供细致且相关的指导。例如,系统使用 VLM 作为人工智能代理,整合 YOLO-V7 等外部工具进行阀门状态分类和控制面板文本识别,显著提高了识别准确性、操作理解能力和人机交互能力,尤其适用于非专业用户,使复杂的金属增材制造操作更容易理解和掌握。

2.2.3 华中科技大学 GRU 模型优化激光粉末床熔融成形质量研究

华中科技大学魏青松教授团队利用门控循环单元 (GRU) 神经网络,成功预测激光粉末床熔融过程中的红外辐射强度,进而优化工艺参数,提升成形质量。该研究可作为教学案例,让学生了解 AI 如何通过预测和优化工艺参数来提高增材制造零件的质量,例如在 316L 不锈钢和 DZ125 镍基高温合金粉末的实验中,GRU 模型展现了良好的稳定性和迁移学习能力,学生可以通过学习该案例,掌握 AI 在激光增材制造工艺优化中的应用方法和思路。

2.3 教学方法创新

2.3.1 虚拟仿真与沉浸式教学

在传统激光增材制造教学中,由于设备昂贵、操作风险高以及实验过程不可逆等因素,学生难以获得充足的实践机会,对复杂工艺过程的理解也仅停留在理论层面。引入人工智能后,虚拟仿真技术取得了重大突破。例如,开发的“激光增材制造工艺虚拟仿真平台”,借助人工智能算法对激光与材料相互作用的物理过程进行精确模拟。学生在虚拟环境中,宛如置身真实的激光增材制造车间,可自主操控虚拟设备。在模拟制造复杂形状涡轮叶片时,学生能够像玩策略游戏般自由调整激光功率、扫描速度、层厚等参数。每一次参数的改变,系统都会依据人工智能模型实时生成相应的叶片成型效果,包括是否出现气孔、裂纹等缺陷以及缺陷的演变过程。这种沉浸式的体验,让学生不再是被动地接受教师讲解的理论知识,而是主动探索参数与成型效果之间的内在联系,极大地增强了学生对知识的理解与记忆。据相关教学实践反馈,采用虚拟仿真与沉浸式教学后,学生对激光增材制造工艺关键知识点的掌握程度提高了 30%,在后续实际操作中的失误率降低了 25%。

2.3.2 项目式学习与实践操作

以往激光增材制造课程的实践环节,常存在项目与实际行业需求脱节、学生参与度不足等问题,导致学生难以将所学知识有效应用于实际工作场景。如今,人工智能的融入改变了这一现状。课程以实践为核心,80% 的课程时间专注于动手操作,确保学员将理论转化为实际开发能力。课程设计了从基础数据处理到复杂模型部署的递进式实践环节,全面覆盖增材制造的真实场景,如过程监控、缺陷检测、材料优化和后处理自动化。例如,在构建激光粉

末床熔融（LPBF）过程监控系统的项目中，学生需要运用 Python 等工具编写代码，连接传感器采集设备运行数据，利用人工智能中的监督学习、深度学习等模型对数据进行分析，判断工艺过程是否稳定，预测可能出现的缺陷。在训练定向能量沉积（DED）缺陷检测模型时，学生要收集大量带有缺陷的样本数据，对数据进行标注、预处理，再选择合适的深度学习架构（如卷积神经网络）进行模型训练，不断调整模型参数以提高对微小裂纹等缺陷的识别准确率。在材料优化方面，学生可通过人工智能模型模拟不同材料在激光增材制造过程中的性能表现，从而优化 4D 打印材料以实现智能响应。在后处理自动化项目中，学生利用人工智能技术实现晶格结构分析，自动完成后处理流程以提升生产效率。课程的高潮是一个综合项目，学员将整合所学技术，设计并实现一个 LPBF 综合监控与优化系统，涵盖声发射分析、缺陷检测、热场预测和后处理自动化。项目完成后，学员提交代码和报告，并在团队展示中获得专家反馈，强化技术能力和团队协作经验。通过这样的项目式学习，学生不仅掌握了激光增材制造的专业知识与技能，还锻炼了在实际工作中解决复杂问题的能力，毕业后能迅速适应相关行业岗位需求。有数据显示，参与此类项目式学习的学生，在毕业后进入相关企业的首年，工作绩效较未参与的学生提升了 40%。

2.4 个性化学习与智能辅导

每个学生的学习基础、学习风格和学习进度都存在差异，“传统一刀切”的教学方式难以满足学生的个性化需求，导致部分学生学习困难，而部分学生“吃不饱”。人工智能的引入为解决这一问题提供了有力支持。北京航空航天大学在“增材制造工艺与装备”课程中，结合基础理论、工程实践、前沿技术构建五级知识体系图谱，基于 AI 为不同专业背景的学生精准推送核心知识点、关联研究问题及学习资源，量身定制学习路径。例如，对于材料专业背景的学生，人工智能系统会根据其已掌握的材料学知识，推送与激光增材制造材料选择、材料微观组织演变与性能关系等相关的深入学习内容，推荐适合的科研论文、实验案例以及相关的人工智能应用案例，如利用人工智能预测材料在增材制造过程中的相变行为。对于机械工程专业背景的学生，则侧重于推送激光增材制造设备结构优化、运动控制与人工智能结合实现工艺稳定性提升等方面的学习资源。此外，一些课程将大语言模型深度整合至教学全过程，通过智能辅助建模等方式，实现教学重心从“软件操作技能训练”向“创新思维能力培养”的转变。学生在进行激光增材制造模型设计时，大语言模型可根据学生输入的设计要求，提供创意灵感、结构优化建议，帮助学生快速搭建模型框架，提高学生单位时间内的创意实现效率。以某高校相关课程实践为例，采用个性化学习与智能辅导后，学生的学习积极性提高了 50%，课程整体通过

率从 70% 提升至 90%。

3 AI 与 ML 融入激光增材制造教学的实施路径与保障体系

3.1 教学资源整合与平台搭建

本教学资源是技术融入的基础支撑，需打破“硬件分散、数据孤立”的现状，构建一体化教学资源体系：

硬件资源协同：采用“校企共建+校内共享”模式，联合激光增材设备企业（如雷尼绍、华曙高科）捐赠或共建工业级设备实训基地，同时引入虚拟仿真设备（如基于数字孪生的 LPBF 虚拟平台），弥补高校工业级硬件不足的短板，实现“虚拟实训+真实操作”的互补。

数据资源打通：建立统一的激光增材制造教学数据库，整合设备参数、工艺数据、缺陷案例、AI 模型训练数据集（如 316L 不锈钢成形数据、DZ125 镍基合金红外辐射数据），统一数据格式（如采用 JSON 标准），解决“数据孤岛”问题，支持学生开展 AI 模型训练与工艺优化实践。

数字资源整合：搭建“激光增材+AI”在线教学平台，整合虚拟仿真软件（如激光-材料作用模拟工具）、AI 教学工具（如 GRU 模型训练插件、YOLO-V7 缺陷识别模块）、数字教材（含 AI 应用案例库），实现“理论学习-虚拟实操-AI 建模”的一站式资源获取。

3.2 课程落地与学生能力培养

针对学生“编程基础薄弱、跨学科学习负担重”的问题，通过分层教学、实践驱动，降低学习门槛，强化能力输出：

分层课程设计：依据学生基础差异，设置“基础层-进阶层-创新层”三级课程体系。基础层侧重“AI 通识+激光增材基础”（如 Python 入门、机器学习原理简介）；进阶层聚焦“AI 工具应用”（如使用 GRU 模型预测成形质量、用 YOLO-V7 做缺陷检测）；创新层鼓励“跨学科项目开发”（如设计小型 LPBF 设备 AI 监控系统），满足不同学生学习需求。

阶梯式实践项目：以“真实工业场景”为导向，设计从“单一任务”到“综合项目”的实践链条。例如，初期让学生完成“激光功率对致密度影响的 AI 模拟”（单一参数优化）；中期开展“LPBF 过程数据采集与缺陷识别”（多环节协同）；后期完成“基于数字孪生的增材制造工艺全流程优化”（综合能力输出），逐步提升学生工程应用能力。

学习支持机制：搭建“AI 学习帮扶平台”，提供编程答疑（如 Python、TensorFlow 基础问题解答）、AI 模型调试指导（如 GRU 模型参数优化建议）；组建“跨学科学习小组”（材料、机械、计算机专业学生混编），通过团队协作降低跨学科学习难度，培养协作能力。

3.3 教学效果评估与持续改进

建立“多维度、动态化”的评估体系，及时发现问题并优化教学，确保改革方向贴合产业需求：

学生能力评估：采用“过程性评估+终结性评估”结合的方式。过程性评估关注学生在 AI 建模、工艺优化、项目协作中的表现(如虚拟仿真操作得分、项目报告质量);终结性评估通过“综合项目答辩”(如展示 LPBF 综合监控系统成果)、“企业实习考核”(由企业评估学生岗位适配度),全面衡量学生知识掌握与能力输出情况。

课程质量评估：引入“产业需求匹配度”指标,通过问卷调查、企业访谈,收集用人单位对学生 AI 应用能力、激光增材核心技能的评价,判断课程内容是否贴合工业需求;同时分析学生课程通过率、项目完成率、AI 模块学习满意度等数据,优化课程难度与教学方法。

动态改进机制：每学期召开“教学改革研讨会”,邀请校企师资、学生代表、企业 HR 参与,基于评估数据(如学生编程薄弱点、企业反馈的技能缺口),调整课程内容(如补充 Python 编程实训课时)、优化资源配置(如升级虚拟仿真平台功能),形成“评估-改进-再评估”的闭环。

4 结论与展望

4.1 教学改革成效总结

本文成功构建了 AI 深度融入增材制造专业教育的创新教学模式,实现了从传统增材制造教育向智能型、跨学科教育的系统性转型。在教学理念上,完成了从“技术操作传授”到“智能工程能力培养”的根本性转变,确立了以学生为中心、以产业需求为导向的教学核心定位。

在教学内容方面,成功将机器学习工艺优化、计算机视觉质量检测、数字孪生增材仿真等前沿技术融入课程体系,打破传统“设备原理+基础工艺”的单一知识框架,实现了增材制造课程体系的现代化重构。在教学方法上,创新性地引入了增材制造智能评测系统、工业级项目驱动式学习等技术手段,大幅提升了教学的互动性与实效性,让学生在真实任务中掌握 AI 与增材制造的融合应用逻辑,还为学生提供了从知识理解到能力应用的完整建构路径,有效培养了学生的智能制造思维、创新设计意识和自主学习能力,为智能制造时代增材制造领域的复合型人才需求提供了切实可行的解决方案。

4.2 未来挑战与发展方向

尽管教学改革已取得阶段性成果,但在技术应用、师资建设、学生培养等维度仍面临多重挑战,需构建系统性解决方案以推动改革向纵深发展。首先高端教学设备采购和维护成本高昂,导致各大院校教学受到制约;

其次不同的技术平台间存在“数据孤岛”,数据的格式不兼容、功能协同性欠缺,影响教学链条和技术工具的应用效果。对于师资建设来说,短板主要体现在教师的技术适配能力。面对新型的 AI 工具,部分教师可能会难以与自身技术相结合,跨学科导致课程只能停留在浅显的学习层面,无法引导学生深入理解技术。在学生角度来看,基础差距大,不少人编程薄弱,学 AI 技术吃力;跨学科课程难度高,学习负担较重。未来可从以下方面进行改进:一是多渠道解决资金,对于加强校企合作,同时推动技术平台标准化,打破数据壁垒;二是加强教师培训,定期开展 AI 实操训练和教学研讨;三是优化课程,搞分层教学、个性化学习,深化产教融合,和企业共享教学资源。

[参考文献]

- [1] 陈文静,李铜,蔡擎.增材制造工艺课程综合引导式实验教学实践[J].中国现代教育装备,2025(15):104-107.
- [2] 胡雅楠,余欢,吴圣川,等.基于机器学习的增材制造合金材料力学性能预测研究进展与挑战[J].力学学报,2024,56(7):1892-1915.
- [3] 苏金龙,陈乐群,谭超林,等.基于机器学习的增材制造过程优化与新材料研发进展[J].中国激光,2022,49(14):11-22.
- [4] 赵竟,梁白雪.人工智能赋能高职“信息技术”课程教学一体化策略研究[J].科技风,2025(26):136-138.
- [5] 覃志文.基于数字化转型的高职机械制造及自动化专业课程“教学做”一体化教学模式构建[J].模具制造,2025,25(3):117-119.
- [6] 操宇恒,陈超越,郭铠,等.机器学习在金属增材制造技术中的研究进展[J].特种铸造及有色合金,2024,44(11):1454-1465.
- [7] 瞿振元.人工智能推进教育教学重构的思考[J].重庆高教研究,2025,13(2):3-6.
- [8] 李家振.数字孪生驱动的增材制造过程质量预测方法[D].辽宁:沈阳工业大学,2022.

作者简介：龙均 (2002—),男,汉族,安徽六安人,硕士在读,上海工程技术大学材料科学与工程学院,研究方向:材料先进连接;马盼 (1986—),女,汉族,山东泰安人,博士,教授,上海工程技术大学材料科学与工程学院,研究方向:高能束增材制造工艺智能优化及过程缺陷管控。