

智能驱动·虚实共生：基于数字孪生的增材制造课程“四融一真”教学范式重构

周苗 李刚勇 张云霄 许东杰 朱宇灿 (通讯作者)

湖南理工学院, 湖南岳阳, 414000;

摘要: 面对增材制造技术教学中普遍存在的知识迭代滞后、能力培养悬浮与产教协同浅层化三大核心挑战, 提出“数字孪生底座+四融一真”的教学范式。该范式以构建一个高保真、虚实联动的教学数字孪生体为核心底座, 深度融合产业真实数据与教学全流程。不仅能实现对制造工艺参数的人工智能辅助诊断与优化, 更构建了企业真实生产需求向教学场景的动态映射机制, 并依托大数据平台完成了对学习者的知识与技能掌握的多维度、全过程溯源与形成性评价。本研究为破解高端装备制造领域工程技术人才培养的瓶颈提供了经过验证的数字化解决方案与新范式。

关键词: “四融一真”; 增材制造技术课程; 数字孪生; 教学范式

DOI: 10. 64216/3080-1494. 26. 01. 079

引言

增材制造技术正经历以“技术-应用-人才”三维突破, 深刻重塑全球制造业格局^[1,2]。然而, 高校传统教学模式深陷“四重脱节”困境: 教学内容滞后性危机; 实践平台资源性断层; 校企协同机制性梗阻; 学生能力结构性失衡^[3-5]。面对此系统性危机, 本研究首创“教学数字孪生体”范式, 通过构建物理设备与虚拟系统实时联动的虚实共生底座, 实现工艺参数 AI 诊断、产业需求动态映射与学习成效全维度溯源, 为破解产教深度协同难题提供颠覆性解决方案。

1 教学改革背景与深度归因分析

增材制造技术教学的系统性困境源于四重结构性矛盾:

1.1 教学内容滞后性危机

教材更新周期长达 3-5 年, 与产业技术迭代速度形成尖锐冲突。教师群体中仅 30% 保持常态化企业技术交流, 导致 2024 年行业主流技术在大纲中的覆盖率不足 45%。这种“技术代际差”使学生所学知识与企业需求脱节达 2-3 个技术周期。

1.2 实践平台资源性断层

工业级设备均价高的教学成本压力下, 生均实操学时每学期不足 4 小时。现有实践环节中 80% 为验证性基础操作, 缺乏支撑复杂工程能力培养的综合性平台。

1.3 校企协同机制性梗阻

70% 的制造企业因技术保密顾虑与成本考量, 拒绝深度开放生产现场。且高校教师评价体系中科研占比 80% 的刚性导向, 导致教师年均企业实践时长不足 20 小时。

1.4 学生能力结构性失衡

跨专业生源的 CAD 技能评估标准差达 35 分, 前测三维建模能力合格率仅 48%。传统教学却采用“标准化输入-统一化输出”模式, 忽视知识转化训练的阶梯性设计, 使基础薄弱学生陷入“未学会走路先学跑”的困境。

2 教学范式改革策略: “四融一真”框架与数字孪生赋能

面对增材制造教学内容滞后、实践资源匮乏、校企协同浅层、能力评价失真等核心问题, 本项目以“产教融合”为核心理念, 构建了“四融一真”教学改革框架(图 1)。



图 1 产教融合资源共享

2.1 “四融一真”框架的内涵与数字孪生赋能路径

为破解上述困境，提出并实践“四融一真”教学改革框架，深度融合数字孪生技术，构建虚实联动的教学新生态。

2.1.1 融入数字信息化元素：构建虚实共生底座与资源共享平台

通过在工业级增材制造设备上集成高精度传感器集群，实时采集物理世界的“实体镜像”。利用 AI 驱动的缺陷预测模型对工艺过程进行毫秒级的实时仿真推演。突破建立物理层与虚拟层的双向交互闭环。虚拟系统基于仿真结果向实体设备输出工艺参数优化建议，实体设备运行中产生的真实数据又实时反馈回虚拟层，用于修正和校准孪生模型，不断提升预测精度（图 2）。

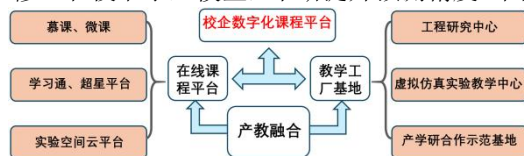


图 2 校企共建资源共享平台示意图

在线课程平台： 基于数字孪生体，建设《增材制造技术》动态在线课程平台。平台不仅包含基础理论视频、课件，更集成了由企业技术人员与教师共同开发的“企业特色制造技术示范”直播窗口、基于数字孪生仿真的“项目实例库”以及丰富的科普资源。

教学工厂基地： 校企合作开发建设产教融合示范教学工厂基地的数字孪生版本。利用 VR/AR 技术，高度还原实际生产环境。案例库精选增材制造领域具有代表性、挑战性的真实工程背景项目，并融入数字孪生体提供的“故障模拟库”。

2.1.2 融入增材制造生产技术标准：设计真实、多学科交叉的课程内容

企业深度参与课程制定： 通过定期分析行业报告、企业工单和人才招聘数据，精准把握产业发展趋势和岗位能力需求。企业专家直接参与课程大纲修订，将企业的技术规范直接转化为教学目标和考核标准。

强化课程交叉融合： 打破学科壁垒，将《增材制造技术》与《应用电化学基础》、《机械设计原理增》、《计算机科学》等课程知识进行有机整合。

引入真实应用案例： 课程内容紧密围绕企业提供的真实生产案例和前沿项目展开。例如，将“新能源汽车电池支架拓扑优化与增材制造”项目引入课堂，要求学生综合运用生成式 AI 设计软件进行轻量化结构设计，

利用数字孪生平台仿真预测制造过程中的变形风险并优化支撑策略，最终在实体设备上完成制造，并严格按企业标准进行验收。

2.1.3 融入 OBE 教学理念：探索多元化、立体化教学方法

以学生中心、产出导向、持续改进理念为指导，打造“四化”教学模式：

虚实结合化： 如前所述，数字孪生与 VR/AR 技术是虚实结合的核心载体。突破时空限制，使抽象原理可视化、复杂工艺可操作化、高风险试错低成本化。教学演示视频、虚拟操作、仿真结果可反复调用，极大提升学习效率和深度。

课程模块化： 基于产业人才能力图谱，将《增材制造技术》课程内容重构为五大核心模块：基础原理、材料体系、工艺设计、设备与质量监控、前沿应用与创新。每个模块内部，围绕关键能力点设计“知识单元→技能训练→项目任务”的递进式学习路径，并绘制清晰的模块思维导图，帮助学生建立系统化知识框架，理解知识点与工程项目的映射关系。

课程立体化： 采用“启发式引导 + 项目驱动”的教学方法，打造 4R 教学环境。学生在项目全生命周期中扮演工程师角色，运用多学科知识，体验完整的工程实践流程，培养系统思维、技术创新能力与团队协作精神。课程内容保持动态更新，及时融入增材制造领域最新科研成果、社会需求变化及企业优秀实践。

课程思政化： 深入挖掘课程知识体系中蕴含的思政元素。通过对比国内外增材制造技术发展历程，如当前在航空航天、国防等领域取得的重大突破与仍存在的“卡脖子”问题，激发学生的爱国情怀、忧患意识和科技报国的使命感。

2.1.4 融入“双向”师资流动理念：构建产教一体化教学队伍

“专业导师+产业导师”双导师制（图 3）： 这是实现师资融合的关键制度设计。

走出去： 建立教师企业实践常态化机制。专业教师定期深入合作企业，参与实际生产、研发和管理，学习最新技术、工艺和管理经验，积累真实案例，反哺教学和科研。

请进来： 聘请企业技术骨干担任产业导师，承担不少于 30% 的核心课时。产业导师聚焦讲授“工业场景

下的参数调优秘籍”、“典型失效案例分析”、“前沿技术应用与挑战”等传统课堂难以覆盖的实战内容。

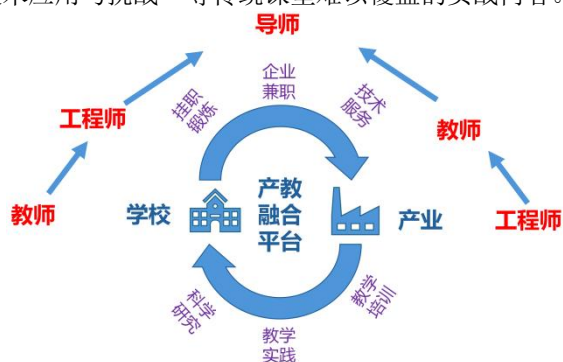


图3 “专业导师+产业导师”双导师指导团队

2.1.5 “一真”评价体系：锚定工业标准多元化考核

重视实践的多元化考评：考核场景从教室延伸到企业、实验室和生产线。构建以产品实物评价为主要内容的考评机制，是“一真”最核心的体现。例如：

精度维度：采用工业级蓝光三维扫描仪生成产品三维点云模型，并与设计模型进行比对，生成直观的偏差色谱图。

性能维度：依据产品功能要求进行力学性能测试、无损检测等。

过程维度：利用项目管理工具追溯项目全过程，记录设计迭代版本、参数修改记录、团队沟通记录，计算团队协作效率熵值。

创新维度：运用专利数据库相似度检索算法，评估学生设计方案的独创性系数。独创性系数达0.85以上的优秀作品，可直接获得合作企业的采购意向或孵化支持。

多角色参与评价：评价主体多元化。除课程主讲教师外，产业导师、企业工程师、项目小组成员、甚至相关领域专家均可参与评价。

学生作品考核：学生最终完成的实物产品及其完整项目文档是评价学习效果最直接、最有力的证据。强调作品从研发、设计到制造全流程的创新性、规范性和实用性。

2.2 数字孪生教学的重映射

数字孪生技术为“四融一真”框架提供了强大的使能支撑，实现了教学场域对产业场景的精准映射。

物理场景映射：将真实的产业环境通过数字孪生和VR/AR技术高保真地复刻到教学环境中。例如，构建“VR远程协同实训舱”，利用5G+AR技术，使学生能够远程观察甚至低延迟操作异地的高端设备，获得沉浸式的工

业现场体验。

知识体系映射：将企业积累的宝贵知识资产转化为教学资源。通过构建AI辅助决策引擎，应用神经网络等算法，为学生提供实时的工艺参数推荐、缺陷诊断和优化建议，将隐性的工业知识显性化、教学化。

质量标准映射：将严苛的工业质检标准直接转化为教学评价标准。利用三维点云比对系统、AI缺陷识别算法等工具，自动检测学生作品与设计模型的偏差，对超差区域进行红色预警标记，使学生直观感受工业级质量要求。

3 结语

本研究针对增材制造教学中的知识滞后、实践薄弱与产教脱节等问题，提出“智能驱动·虚实共生”的“四融一真”教学范式。以数字孪生技术为基，构建虚实联动、数据闭环的教学孪生体，依托OBE理念实施项目化教学，建立以产品合格率为核心的多元评价体系。该范式有效提升了实训效能与工程能力，显著增强人才培养的产业适配性，为工程教育产教融合提供了实践路径。

参考文献

- [1] 刘凯,陈鹏.增材制造技术课程思政融入与多维度教学方法探究[J].高教学刊,2024,10(36):18-22.
- [2] 薛慧玲.“三全育人”背景下高校思政课改革策略探赜[J].成才之路,2025(05):39-42.
- [3] 席丽霞,顾冬冬,林开杰,等.增材制造技术创新型人才培养模式改革与探索[J].中国现代教育装备,2025(03):109-111.
- [4] 李凯,项薇.新工科背景下增材制造技术课程的教学探索与实践[J].装备制造技术,2024(01):67-69.
- [5] 王占栋,习爽,刘英,等.激光增材制造技术课程思政模式探讨与实践[J].教育信息化论坛,2023(04):120-122.

作者简介：周苗（1993—），女，汉族，湖南益阳人，博士，研究方向新能源材料与器件。

基金项目：基于“产教融合、四融一真”的《增材制造技术》课程教学改革与实践，项目编号：202401001144，湖南省普通本科高校教学改革研究立项项目；基于“OBE理念下电工课程“三融三驱”教学模式构建：思政引领、技术赋能与动态评估的协同创新，项目编号：202502001063，湖南省普通本科高校教学改革研究立项项目。