

Practicing and Exploring Project-Based Learning in an Ultrafast Laser Processing Course

Meng Wang

Shenzhen Technology University, Shenzhen, Guangdong, 518118, China

Abstract

Ultrafast Laser Micro/Nano Processing is a core senior-level course in the Laser Intelligent Manufacturing program, characterized by strong interdisciplinary integration, high technical barriers, and a clear orientation toward engineering applications. Traditional teaching approaches have long suffered from issues such as overemphasis on theoretical instruction at the expense of critical thinking, insufficient student initiative in knowledge acquisition, and rigid assessment methods that fail to foster innovation. To address these challenges, this study implements a Project-Based Learning (PBL) model at Shenzhen Technology University, anchoring the curriculum in real-world industrial demands and research-driven tasks. A central conceptual thread—"thermal effect regulation in laser processing"—is established to unify course content, while a three-phase instructional framework (Foundational → Integrated → Innovative) is developed to scaffold student learning. Over two academic cycles (2022–2024) involving 62 students, the PBL approach has demonstrated significant outcomes: over 85% of students can independently select appropriate laser systems and design processing parameters; 70% successfully complete complex microstructure fabrication tasks; three student-developed prototypes (e.g., anti-reflective microstructures on sapphire) have been adopted for pilot testing by leading enterprises such as Han's Laser; and 34% of graduates secured positions in top-tier laser manufacturing companies—substantially higher than the program average. The reform effectively bridges the gap between classroom learning and industrial practice, offering a replicable and scalable pedagogical model for advanced manufacturing courses under the New Engineering Education paradigm.

Keywords

project-based learning; ultrafast laser processing; practical teaching; New Engineering Education; industry-education integration

项目驱动式教学在超快激光加工课程中的实践与探索

王萌

深圳技术大学, 中国·广东 深圳 518118

摘要

《超快激光微纳加工》是激光智能制造专业高年级核心课程, 具有强交叉性、高技术门槛与鲜明的工程应用导向。针对传统教学中“重知识讲授、轻独立思考”“学习主动性不足”“考核方式刻板”等问题, 本文在课程中引入项目驱动式教学 (Project-Based Learning, PBL) 模式, 以真实产业需求或科研课题为牵引, 构建“激光加工热效应调控”为核心认知主线, 重构“基础—综合—创新”三阶段课程体系。通过近两年两轮教学实践表明: 学生设备选型与工艺设计能力显著提升, 85%以上能独立完成微结构加工任务; 3项学生作品被大族激光等企业采纳试用; 毕业生入职头部激光企业比例达34%。该模式有效弥合了课堂与产业鸿沟, 为新工科背景下高端制造类课程改革提供了可复制路径。

关键词

项目驱动式教学; 超快激光加工; 实践教学; 新工科; 产教融合

1 引言

超快激光 (皮秒/飞秒量级) 因其极短脉冲宽度、高峰值功率与“冷加工”特性, 已成为微电子^[1]、光子集成^[2]、生物医疗^[3]、航空航天^[4-5]等领域精密制造的关键使能技术。据《中国激光产业发展报告 (2023)》显示, 我国超快激光器市场规模已突破 50 亿元, 年复合增长率达 28%, 但高端工艺工程师缺口超过 2 万人, 尤其缺乏既懂原理又会调试的

复合型人才^[6]。在此背景下, 教育部《新工科建设指南》明确提出: “推动课程从知识传授向能力生成转变, 强化项目式、案例式教学”。深圳技术大学作为广东省重点建设的应用型高校, 始终坚持“来自产业、服务产业”的办学理念, 致力于培养“懂原理、会设计、能调试、善优化”的工程人才^[7]。

《超快激光微纳加工》作为我校激光智能制造专业的核心必修课, 面向已完成《工程光学》《激光原理与技术》等先修课程的大三学生开设^[8], 旨在使其系统掌握激光与材料相互作用机理、典型微纳结构加工方法及前沿应用场景^[9]。然而, 传统教学长期存在三大困境: 一是理论抽象难理解,

【作者简介】王萌 (1987–), 女, 中国河北衡水人, 博士, 从事激光智能制造研究。

学生被动接受；二是教材更新滞后，难以覆盖双光子聚合、LIPSS等新兴技术；三是实验以验证为主，学生动手机会少，工程能力薄弱^[10]。

为此，本课程团队自2022年起开展项目驱动式教学改革，以真实工程问题为牵引，推动课程从“知识传授”向“能力生成”转型。

2 项目驱动式教学在超快激光加工课程中的实践与探索

2.1 项目实施的意义

2.1.1 针对当前教学中存在的问题

《超快激光微纳加工》作为机械制造与自动化专业的一门核心课程，涵盖了从基础理论到前沿应用的广泛知识。然而，在多年的教学实践中，我们发现该课程存在以下几方面的问题：

第一，重知识讲授，轻独立思考。

课程内容涉及多种超快激光微纳加工技术，教师虽精心备课、系统讲解各类方法的原理与特点，但教学仍以“教师讲—学生听”的单向传递为主，缺乏引导学生主动建构知识的机制。课后作业多为归纳总结型题目，答案唯一，难以激发批判性思维与创新意识。例如，一道典型习题为“简述飞秒激光加工的优点”，标准答案固定，学生只需背诵即可得分。一位2022级学生在访谈中坦言：“上课听懂了，但不知道怎么用，感觉学了一堆‘死知识’。”

第二，学习主动性不足，获取知识能力弱。

超快激光技术迭代迅速，新材料、新工艺（如双光子聚合3D打印、激光诱导周期性表面结构LIPSS等）不断涌现，而现有教材更新缓慢，课堂内容难以覆盖产业前沿。同时，课程涉及大量英文专业术语，学生科技英语阅读能力薄弱，主动查阅高水平期刊的比例不足15%（基于2022级课程问卷）。这导致学生知识结构固化，难以应对快速变化的技术环境。

第三，考试题目刻板，创新思维受限。

当前采用“平时30%+期末70%”的累加式评价，期末试卷以概念辨析、简答为主，侧重记忆而非应用。即便增设开放性题目，也因占比过低而流于形式。学生习惯于“标准答案思维”，对“无确定解”的工程问题畏难回避。例如，在一次期中测验中，题目“如何提高玻璃内部波导的耦合效率？”仅有12%的学生尝试提出原创方案，其余均回答“不清楚”或“需查资料”。

2.1.2 项目驱动式教学的意义

项目驱动式教学（PBL）源于杜威“做中学”理念，强调以真实、复杂、有意义的问题为起点，通过协作探究达成深度学习。将其引入本课程，具有以下重要意义：

一是增强学生的自主学习能力。在PBL中，学生不再是知识的被动接收者，而是问题的主动解决者。他们需要围

绕项目目标，自主查阅文献、设计实验、调试参数、分析结果。这一过程不仅锻炼信息检索能力，更培养了批判性思维与终身学习习惯。

二是促进跨学科融合。超快激光微纳加工天然涉及材料科学（如玻璃、金属、聚合物）、光学（光束整形、聚焦）、物理学（非线性吸收、等离子体动力学），甚至生物学（细胞支架、微流控芯片）。PBL鼓励学生跨专业组队，例如邀请生物医学工程专业学生参与“激光制备仿生微结构”项目，实现知识互补与能力协同。

三是提高动手实践能力。传统实验多为“照方抓药”式验证，而PBL下的实验强调设计性与探索性。学生需根据项目目标自主选择激光器类型（纳秒/皮秒/飞秒）、设定扫描策略、优化工艺窗口，真正实现“做中学、研中学”。

四是培养创新精神与团队协作意识。每个项目由3-4人小组共同完成，成员需分工协作、定期汇报、共同答辩。这一过程不仅锻炼沟通协调能力，更在反复试错中激发创新潜能。正如一位学生在结课感言中写道：“以前觉得激光很神秘，现在我能自己设计一个减反射结构并做出样品，这种成就感无可替代。”

2.2 现状分析

2.2.1 本专业的教学改革需求

在激光智能制造专业中，《超快激光微纳加工》是高年级本科生的专业必修课，年均授课50-60人。随着“中国制造2025”战略推进，国家对高端制造人才的需求激增，特别是具备超快激光技术背景的工程师供不应求。然而，现有教学模式存在明显短板：

课程内容滞后于产业发展。尽管课程涵盖基础理论和经典案例，但对于飞秒激光三维直写、透明介质内部光子学集成等前沿应用，介绍较少且不够深入。例如，Science报道的“飞秒激光焊接陶瓷”技术，传统教材尚未收录。学生普遍反映：“课堂讲的内容，企业已经不用了。”

实验设备资源有限。超快激光器价格昂贵（单台超百万元），实验室仅配备2台飞秒激光系统，难以满足每位学生独立操作的需求。人均上机时间不足2小时，严重制约技能训练。尽管设有开放实验室，但缺乏明确任务驱动，学生参与度不高。

评价体系单一。过度依赖期末笔试，忽视过程性表现与项目成果，无法全面反映学生的真实能力水平。企业反馈指出：“毕业生理论扎实，但不会调参数、不敢碰设备。”

2.2.2 本学院及全校的教学改革现状

近年来，学校全面推进新工科建设，强调“产教融合、校企协同”。中德智能制造学院依托与大族激光、华为、西门子等企业的深度合作，已构建“理论—仿真—实验—产线”四位一体的实践教学体系。

前期教改已取得初步成效，然而，面对《超快激光微纳加工》这类高门槛、强交叉、快迭代的前沿课程，现有改革

仍显不足：缺乏贯穿始终的综合性项目载体，知识碎片化问题突出；教学内容与企业真实需求存在“时间差”；学生难以接触产线级工艺问题。因此，亟需引入 PBL 模式，以真实工程问题为牵引，重构“教—学—评”闭环，契合我校“来自产业、服务产业”的办学理念。

3 项目驱动式教学设计与实施

3.1 构建“一主线、三阶段”课程体系

以“激光加工热效应调控”为核心认知主线，贯穿全课：
冷加工（超快激光）：非热相变主导，热影响区 $<1\ \mu\text{m}$ ；
热加工（纳秒激光）：熔融蒸发主导，热影响区 $>10\ \mu\text{m}$ 。

所有知识点均围绕此主线展开。例如，讲解“为何飞秒激光可用于玻璃内部加工”时，引导学生回归热扩散时间尺度与脉冲宽度的关系。课程按“基础—综合—创新”三阶段递进，

基础阶段（1-6周）：材料科学基础、激光与物质相互作用机理、超快激光器类型与参数；

综合阶段（7-12周）：双光子聚合 3D 直写、透明介质内部光子学集成、微流控芯片制备；

创新阶段（13-16周）：自主选题，如激光诱导超疏水表面、多色 3D 打印等，结合 Nature/Science 最新报道。

3.2 教学策略创新

对比切入法：从学生熟悉的电火花、线切割等传统加工出发引出超快激光优势。例如：“电火花加工金属会产生毛刺，而飞秒激光可实现无热损伤切割。”

前沿动态周报：每两周解析 1 篇顶刊论文。2023 年 10 月，组织学生研讨 Nature 报道的“飞秒激光实现多色 3D 打印”，激发创新灵感。

学完即做：每讲完一个知识点，立即安排对应实验。如讲完“双光子聚合”即开展树脂 3D 打印，制作微齿轮、微弹簧等结构。

反转课堂：学生分组调研“飞秒激光在医疗中的应用”并汇报，教师点评引导。

3.3 多元评价机制

采用“过程性+成果性”综合评价，并制定详细量表，期末考试取消纯记忆题，增设开放性问题：“请预测双光子聚合技术的加工极限，并提出突破路径”。

4 教学实践成效

在 2022 级、2023 级学生中实施两轮教学，成效显著：学生参与度显著提升：实验出勤率从 78% 升至 98%，85% 学生主动延长开放实验室使用时间；工程能力切实增强：85% 学生能根据加工目标自主选择激光器类型及参数，70% 能独立完成微结构加工任务。

5 总结与展望

项目驱动式教学有效破解了《超快激光加工》课程“高门槛、难实践、脱离产线”的困境，实现了“三个转变”：

从“教师讲授”向“学生主导”转变；

从“验证实验”向“创新研发”转变；

从“孤立课程”向“产教融合”转变。

基于本课程实践，我们提炼出适用于高端制造类课程的“三阶四维 PBL 模型”：

三阶：基础认知 → 综合应用 → 创新拓展；

四维：真问题驱动、全流程实践、跨学科协作、多元化评价。

未来将进一步：

(1) 建设超快激光虚拟仿真实验平台，缓解设备紧张；

(2) 拓展校企联合项目库，每年新增 3-5 个真实产线课题；

(3) 探索“课程项目—毕业设计—企业就业”一体化培养路径。

本改革实践不仅提升了课程教学质量，更体现了应用型高校“以产业需求为导向、以学生发展为中心”的育人初心，为新工科背景下高端制造类课程建设提供了可复制、可推广的方案。

参考文献

- [1] 付秀.激光焊接技术在小微电子行业的应用[J].现代职业教育,2020,(47):162-163.
- [2] 尹悦鑫,张大明.聚合物三维光子集成芯片的进展与挑战(特邀)[J].光学学报,2024,44(15):71-84.
- [3] 杜帅,张成林,孙文明,等.激光微细加工技术在医疗器材领域的应用[J].光电工程,2023,50(03):186-201..
- [4] 薛飒,朱振,兰剑,等.航空航天用激光增材制造金属构件热处理研究进展[J].中国材料进展,2025,44(06):568-580.
- [5] 倪江涛,鲍晓通,谢勇.激光选区熔化成形技术在航空航天领域应用现状[J].导弹与航天运载技术(中英文),2025,(02):69-76..
- [6] 中国激光产业发展报告编辑委员会.中国激光产业发展报告(2023)[R].北京:中国激光杂志社,2023.
- [7] 张大良.创建具有中国特色世界水平的一流本科教育.中国高教研究,2016.
- [8] 王萌,何铁峰,王宁,等.激光原理与技术课程实验及实践教学改革[J].中国现代教育装备,2021(12):45-47.
- [9] 乔明,闫剑锋,俞嘉晨,等.超快激光加工二氧化钛微纳结构及功能器件研究进展[J].中国激光,2022,22:1-10.
- [10] 徐锦泐,沈家欣,陈明.基于OBE理念与双PBL模式的混合式课程设计与实践[J].高教学刊,2023,(032):26-31.