

3D打印技术赋能机械类课程设计与学科竞赛的融合实践

林嘉鑫, 李颐昊, 陈小军*

岭南师范学院机电工程学院, 广东 湛江

收稿日期: 2026年7月10日; 录用日期: 2026年8月19日; 发布日期: 2026年8月31日

摘要

新工科建设对机械类专业人才的工程实践能力与创新素养提出了更高要求。然而, 传统课程设计长期存在虚拟图纸多、实体验证少的短板, 学科竞赛作品与课堂教学之间亦缺乏有效衔接。本文提出以3D打印技术为桥梁, 构建课堂学理论、课程设计练技能、竞赛项目促创新、反馈优化课程内容的闭环融合实践路径。通过将3D打印纳入课程设计必修环节, 以竞赛子任务驱动课程选题, 建立理论讲授、软件操作、分组设计、快速打印验证、迭代优化五阶段教学过程, 实现了课程教学与学科竞赛的深度融合。以全国大学生机械创新设计大赛等学科竞赛为例, 详细展示了融合实践的 implementation 过程与成效。实践表明, 3D打印技术能够有效弥合课堂与赛场之间的鸿沟, 其核心价值在于以造促学、以赛促改。

关键词

3D打印, 机械类课程设计, 学科竞赛, 仿生机器鱼, 融合实践

Empowering Integration Practice of Mechanical Course Design and Discipline Competitions via 3D Printing Technology

Jiixin Lin, Yihao Li, Xiaojun Chen*

School of Mechanical and Electrical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

Received: July 10, 2026; accepted: August 19, 2026; published: August 31, 2026

Abstract

Emerging engineering education demands stronger practical skills and innovative thinking from mechanical engineering students. Traditional course design, however, still relies heavily on virtual

*通讯作者。

文章引用: 林嘉鑫, 李颐昊, 陈小军. 3D 打印技术赋能机械类课程设计与学科竞赛的融合实践[J]. 创新教育研究, 2026, 14(8): 558-567. DOI: 10.12677/ces.2026.148638

drawings and offers too few opportunities for physical verification. Meanwhile, project outcomes from discipline competitions often remain disconnected from classroom instruction. To address these gaps, we use 3D printing as a bridge to build a closed-loop integration pathway. This pathway connects four elements: theory learning in class, skill training through course design, innovation driven by competition tasks, and curriculum optimization based on feedback. We make 3D printing a mandatory part of course design, select project topics from competition subtasks, and implement a five-stage teaching process that includes lectures, software practice, group design, rapid prototyping, and iterative refinement. This approach effectively merges teaching with competition activities. Taking the National Undergraduate Mechanical Innovation Design Competition as an example, we detail the implementation process and the outcomes we observed. Our experience shows that 3D printing can effectively close the gap between the classroom and the competition arena. Its core value lies in promoting learning through making and encouraging teaching reform through competition.

Keywords

3D Printing, Mechanical Course Design, Discipline Competitions, Bionic Robotic Fish, Integrated Practice

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

新工科建设背景下,机械类专业人才面临从会画图、懂理论向能设计、善制造、敢创新的能力升级要求。传统机械类课程设计,如机械原理、机械设计、机电一体化等,长期以二维图纸和三维建模为主要产出形式,学生完成设计后往往止步于虚拟模型,缺少实物验证环节。虚拟图纸多、实体验证少,成为制约实践教学质量提升的突出瓶颈。与此同时,高水平学科竞赛,如全国大学生机械创新设计大赛、全国三维数字化创新设计大赛、中国大学生机械工程创新创业大赛、工程训练综合能力竞赛、机器人竞赛等,要求学生提交可运行、可演示的实物作品。然而,竞赛作品的设计构思与课堂所学知识之间缺乏系统性的教学转化通道,形成了竞赛作品与课堂脱节的尴尬局面。

3D 打印技术,即增材制造,以其快速原型制造、低成本迭代、复杂结构成形的显著优势,为破解上述困境提供了技术支撑[1]。该技术能够将学生的数字模型在数小时至数日内转化为物理实体,使设计、制造、测试、改进的闭环周期大幅缩短。将 3D 打印引入机械类课程设计与学科竞赛的衔接地带,有望实现从纸上设计到实物验证的教学范式转换[2]。

本文提出从课堂到赛场的融合实践路径,其内涵可概括为四阶闭环模型:课堂学理论,即基础知识与设计原理;课程设计练技能,即建模、切片、打印、装配全流程训练;竞赛项目促创新,即以真实竞赛任务驱动综合设计;反馈优化课程内容,即竞赛中暴露的问题倒逼课程教学更新。该模型加入了竞赛反哺这一特色闭环环节,使外部竞赛评价成为课程持续改进的动力源,从而形成了更具可持续性的工程教育微循环系统。这一路径旨在以 3D 打印技术为桥梁,打破课堂与赛场之间的壁垒,形成学、做、赛相互促进的良性循环[3]。

2. 现状与挑战

2.1. 机械类课程设计的常见模式及其局限

当前国内高校机械类课程设计主要呈现两种模式。其一为基于 CAD/CAM 的虚拟仿真模式,学生使

用 SolidWorks、UG、AutoCAD 等软件完成三维建模、运动仿真和有限元分析,最终提交数字模型与设计报告。该模式的优势在于降低硬件成本、便于批量教学,但缺陷同样明显:学生缺乏对零件可制造性、装配精度、材料性能等现实约束的直观体验,设计停留在屏幕世界[4]。其二为简易实物制作模式,学生利用金工实习设备,如车床、铣床、钳工台等,加工少量零件并组装。该模式虽然能够产出实物,但受制于传统加工方式对复杂曲面、薄壁结构、内部流道等几何特征的加工困难,设计自由度严重受限,且加工周期长、容错成本高[5]。

2.2. 课程设计与学科竞赛之间的差距

将上述课程设计模式与高水平学科竞赛的要求对照,可以发现多维度差距。在时间周期上,课程设计通常安排 2 至 4 周,而竞赛备赛周期长达数月,前者难以支撑充分的迭代优化。在加工能力上,课程设计依托的常规加工设备难以制造竞赛作品所需的复杂结构件,而竞赛作品往往涉及轻量化框架、异形连接件、仿生构型等 3D 打印的擅长领域。在设计自由度上,传统加工约束限制了学生的创意表达,而竞赛恰恰鼓励突破常规的创新设计。在容错迭代上,传统加工往往一刀定终身,设计失误即意味着材料报废和工期延误;3D 打印则允许以较低成本重新切片、重新打印,大幅降低了试错门槛[6]。

2.3. 融合实践的三大障碍

课程设计与学科竞赛的融合实践面临三个层面的结构性障碍[7]。

第一,教学设备与竞赛设备不对等。多数高校的课程设计教学仍以计算机机房和金工车间为主,3D 打印设备往往局限于工程训练中心或创新实验室,未能普及到课程设计环节。学生在课程中接触不到竞赛中常用的增材制造手段,形成能力断层。

第二,课程学时固定与竞赛周期灵活的矛盾。课程设计有固定的起止时间和统一的评分标准,而竞赛备赛周期因赛事而异、因团队而异,两者难以在时间轴上自然对齐。若将竞赛任务硬性嵌入课程设计,可能造成部分学生赶工而丧失深度学习机会。

第三,学生为赛而赛与课程目标脱节。部分参与竞赛的学生将课程设计与竞赛视为互不相关的两件事,课程设计应付了事、竞赛另起炉灶;更有甚者,竞赛作品完全由指导教师主导设计,学生仅充当装配工角色,课程所学未能有效转化为竞赛能力。

上述障碍的根源在于课程教学与竞赛实践之间缺乏一个兼具技术可行性、教学可操作性和成本可承受性的连接器。3D 打印技术恰恰有潜力扮演这一角色。

3. 3D 打印赋能融合实践的教学设计

3.1. 课程端改造:从建模到造物的全流程升级

将 3D 打印技术纳入课程设计的必修环节,核心是从仅三维建模升级为建模、切片、打印、装配、测试的完整制造流程[8],如图 1 所示。具体而言,设定三个层级的分级任务:

基础层:要求学生完成至少 3 个标准机械零件的建模与打印,如齿轮、轴套、支架,掌握 STL 格式导出、切片参数设置,包括层厚、填充密度、支撑类型,和打印机操作的基本技能。

进阶层:以小组为单位完成一个简易传动机构的设计与打印验证,如曲柄滑块机构、凸轮机构,重点考察零件间的装配精度与运动协调性。学生需要根据打印后的实际装配效果调整设计参数,经历至少一轮打印、测试、修改、重印的迭代。

挑战层:针对竞赛级任务开展轻量化优化设计,利用拓扑优化、晶格结构等先进设计方法,在保证功能的前提下最大限度减轻零件重量、减少材料消耗。

三个层级并非割裂，而是逐级递进。基础层为全体学生必修，进阶层为课程设计基本要求，挑战层面向有志于参赛的学生开放。

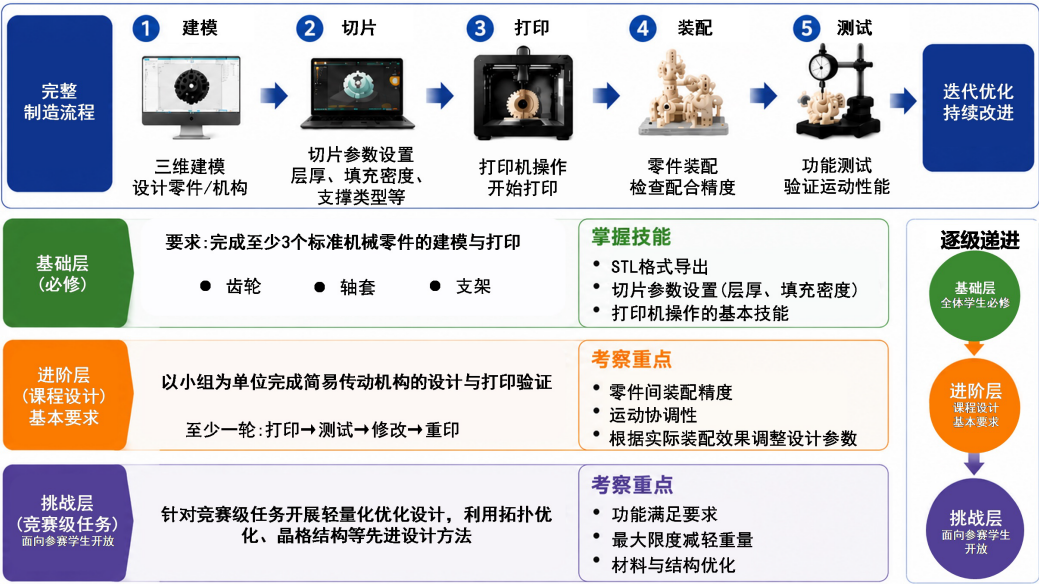


Figure 1. Integration of 3D printing technology into course design process and task system
图 1. 3D 打印技术融入课程设计与任务体系

3.2. 竞赛端衔接：以赛题驱动课程选题

课程设计的题目直接取自学科竞赛的子任务或预研课题。以全国大学生机械创新设计大赛为例，当届赛题公布后，教师团队将赛题拆解为若干可独立实施的课程设计模块。例如，若赛题为智能物流小车，则课程设计可分解为底盘框架设计与打印、抓取机构设计与打印、传感器支架设计与打印等子任务，每个子任务对应一个课程设计小组的产出。

要求每件参赛作品必须包含至少百分之三十的 3D 打印关键零部件，按零件数量或重量计，并提交完整的打印工艺报告，内容包括：材料选型依据、切片参数设置、支撑结构设计、打印时间与成本核算、后处理工艺，如打磨、装配等[9]。这一要求确保学生不仅会使用 3D 打印，更能懂其原理、知其局限、善其工艺。此外，要求在设计报告中设置专门章节，对至少一个关键零件进行传统制造工艺(如数控铣削、注塑成型)的可行性对比分析，从加工成本、周期、可达到的精度与表面质量等维度进行比较，使学生理解增材制造的适用边界，避免形成“3D 打印万能论”的片面认知。

3.3. 五阶段教学过程与双重激励机制

如图 2 所示，建立理论讲授、软件操作、分组设计、快速打印验证、迭代优化的五阶段教学路径[10]：
理论讲授，2 课时：介绍 3D 打印技术原理，如 FDM、SLA、SLS 等主流工艺、材料特性对比、设计约束，如悬垂角度、壁厚、收缩率，以及竞赛背景与任务要求。

软件操作，4 课时：讲授切片软件，如 Cura 的使用方法，包括模型摆放、支撑生成、参数优化等实操技能。

分组设计，课后 2 至 3 周：学生以 4 至 6 人小组为单位，围绕课程设计题目开展方案设计、三维建模与仿真分析，教师定期组织方案评审。

快速打印验证，实验室开放时段：学生利用实验室开放时间完成零件的 3D 打印与后处理，记录打印参数与质量问题。

迭代优化，竞赛备赛期间：根据打印与装配测试结果，修改设计模型并重新打印，完成最终装配与调试阶段。



Figure 2. Five-stage teaching pathway and dual incentive mechanism
图 2. 五阶段教学路径与双重激励机制

配套课堂评分与竞赛加分的双重激励机制：课程设计成绩由设计报告，占百分之四十、打印工艺报告，占百分之三十、实物装配与功能测试，占百分之三十构成；若课程设计成果进一步转化为竞赛作品并获奖，依据获奖等级给予课程成绩加分。这一机制将课程学习的保底要求与竞赛驱动的拔尖激励有机统一。

4. 具体实施案例：以智能仿生机器鱼项目为载体

4.1. 案例背景与项目设计

本案例以机械设计基础课程为实施对象，面向机械类专业学生，以“智能仿生机器鱼”为综合实践项目载体，教学周期为一个学期(约 12 周)。该项目同时作为全国大学生机械创新设计大赛的预研课题，旨在实现课程教学与学科竞赛的有机衔接。

项目设计的核心思路是将课程大纲中的核心知识点——齿轮传动、轴承与轴系、连杆机构、密封技术、轴系设计等——融入一个完整的仿生机器人设计任务中。鱼体总长控制在 300~400 mm，要求学生完成从方案设计、三维建模、3D 打印制造、装配测试到水中游动验证的全流程实践。

4.2. 覆盖的课程知识点与竞赛能力目标

智能仿生机器鱼项目系统覆盖了机械设计基础课程的核心知识模块，并与竞赛所需能力形成映射关系，具体如表 1 所示。

Table 1. Mapping of course knowledge points to competition competencies
表 1. 课程知识点与竞赛能力映射表

知识模块	核心知识点	3D 打印教学验证方式	对应竞赛能力
齿轮传动	模数、齿数、传动比、强度校核	打印不同模数和齿数的齿轮，测试啮合与传动比	传动系统设计与参数匹配
轴承与轴系	配合类型、公差等级、润滑密封	打印轴承座、阶梯轴，验证配合精度与运动可靠性	旋转部件设计与装配工艺
连杆机构	曲柄摇杆机构、运动轨迹、传动角	打印曲柄、连杆、摇杆，测量角位移-时间曲线	仿生运动机构设计与优化
密封技术	O 型圈密封、静密封与动密封	打印密封舱体，进行水下密封性测试	水下设备防水设计
整体装配	系统集成、公差配合、干涉检查	分段打印头部电子舱、中部传动舱、尾部摆动舱，完成总装	复杂机械系统集成能力

4.3. 实施过程：五阶段教学路径的完整呈现

如图 3 所示，五阶段教学路径详细如下：

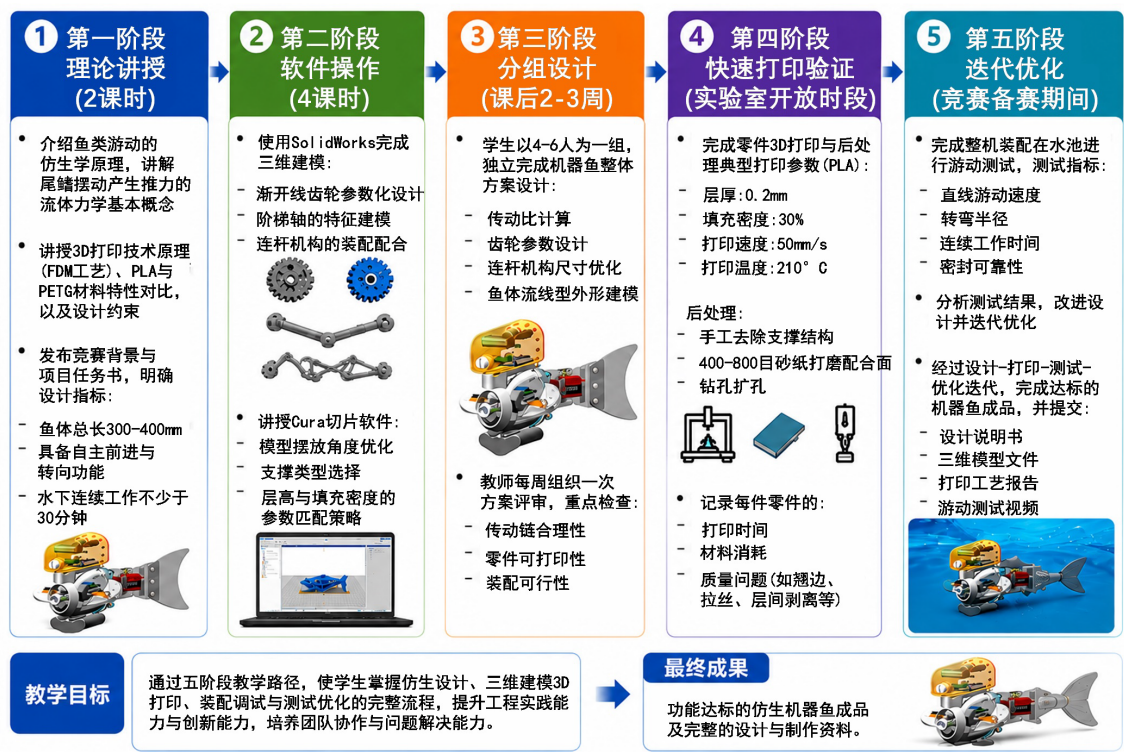


Figure 3. Five-stage teaching path
图 3. 五阶段教学路径

第一阶段：理论讲授(2 课时)。教师首先介绍鱼类游动的仿生学原理，讲解尾鳍摆动产生推力的流体力学基本概念，随后系统讲授 3D 打印技术原理(FDM 工艺)、PLA 与 PETG 材料特性对比，以及设计约束。同时发布竞赛背景与项目任务书，明确设计指标：鱼体总长 300~400 mm，具备自主前进与转向功能，水下连续工作不少于 30 分钟。

第二阶段：软件操作(4 课时)。学生学习使用 SolidWorks 完成三维建模，包括渐开线齿轮的参数化设计、阶梯轴的特征建模、连杆机构的装配配合。随后讲授 Cura 切片软件操作，重点训练模型摆放角度优化、树状支撑与线性支撑的选择、层高与填充密度的参数匹配策略。

第三阶段：分组设计(课后 2~3 周)。学生以 4~6 人为一组。各小组独立完成机器鱼的整体方案设计，包括：传动比计算、齿轮参数设计、连杆机构尺寸优化、鱼体流线型外形建模。教师每周组织一次方案评审，重点检查传动链合理性、零件可打印性和装配可行性。

第四阶段：快速打印验证(实验室开放时段)。学生利用课余时间完成零件的 3D 打印与后处理。典型打印参数为：层厚 0.2 mm，填充密度 30%，打印速度 50 mm/s，打印温度 210℃ (PLA)。后处理包括：手工去除支撑结构、400~800 目砂纸打磨配合面、钻孔扩孔。学生在打印过程中记录每件零件的打印时间、材料消耗、出现的质量问题(如翘边、拉丝、层间剥离等)及解决办法。

第五阶段：迭代优化(竞赛备赛期间)。各小组完成整机装配后，在水池中进行游动测试。测试指标包括：直线游动速度、转弯半径、连续工作时间、密封可靠性。根据测试结果，学生分析设计缺陷并提出改进方案。例如，某小组发现鱼尾摆动幅度不足，经运动学分析确认是曲柄长度偏短，将曲柄从 20 mm 调整为 25 mm 后重新打印，摆动幅度提升至 $\pm 28^\circ$ ，游动速度提高 40%。经过 2~3 轮设计 - 打印 - 测试 - 优化迭代，各小组均完成了功能达标的机器鱼成品，并提交了完整的设计说明书、三维模型文件、打印工艺报告和游动测试视频。

4.4. 从课程设计到竞赛成果的转化

Table 2. Discipline competition awards based on course design achievements

表 2. 基于课程设计成果转化的学科竞赛获奖情况

序号	竞赛类别	等级
1	第十九届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛终审决赛	国赛特等奖
2	中国国际大学生创新大赛(2025)国赛	国赛铜奖
3	2023 年全国大学生机器人科技创新交流营暨机器人大赛终审决赛	国赛二等奖
4	中国国际大学生创新大赛广东省决赛	省赛金奖
5	2024 第 17 届全国三维数字化创新设计大赛	省赛二等奖
6	第十七届挑战杯广东大学生课外学术科技作品竞赛	省赛一等奖
7	2022 年广东省工科大学生实验综合技能竞赛	省赛二等奖
8	第十届(2022 年)广东省大学生机械创新设计大赛	省赛二等奖
9	第十届(2022 年)广东省大学生机械创新设计大赛	省赛优秀奖
10	2021 年广东省工科大学生实验综合技能竞赛	省赛二等奖
11	2023 年广东省工科大学生实验综合技能竞赛	省赛二等奖
12	2024 粤港澳大学生“双百杯”乡村振兴创新创业竞赛	省赛优秀奖
13	湛江市 2024 海洋产业创新创业大赛	市赛优胜奖
14	广东青年大学生“百千万工程”突击队涉海项目	市赛一等奖
15	2025 年度国家级、省级大学生创新创业训练计划项目	国家级
16	2022 年度国家级、省级大学生创新创业训练计划项目	省级
17	广东省科技创新战略专项资金(“攀登计划”)项目	省级

基于课程设计的成果，各小组对机器鱼项目进行深化拓展，以“智能仿生机器鱼”为题参加了多项学科竞赛并取得显著成绩。具体获奖情况如表 2 所示。

上述竞赛成果有力验证了融合实践路径的有效性，学生在课程设计中获得的知识技能积累，通过竞赛平台的延伸应用得到进一步强化和验证，实现了课程孕育竞赛、竞赛反哺课程的良性循环。

4.5. 考核方式与评价标准

为客观评价融合实践的教学效果，本案例构建了多元化考核体系。课程设计总成绩由四部分组成：过程性考核占 40%，重点记录设计方案合理性、建模规范性、打印工艺选择、团队协作表现，通过教师观察、小组互评、阶段性汇报等形式采集数据；实践操作考核占 30%，设置标准化操作任务，从建模精度、打印质量、装配正确性、工具使用规范性四个维度评分；理论知识考核占 20%，采用闭卷笔试但试题紧密联系 3D 打印实践情境，以案例分析为主；创新能力考核占 10%，通过开放性设计项目评审创意新颖性、结构可行性及优化潜力。

针对团队协作评价的有效性问题的研究引入组内互评与个人贡献陈述作为过程性评价的补充工具。具体操作如下：课程结束后，每位学生需提交一份个人贡献陈述，说明自己在建模、切片、后处理、测试等环节的具体工作及解决的关键问题；同时，小组成员之间进行匿名互评，从设计参与度、动手操作贡献、团队沟通与协作三个维度为组内其他成员打分。教师综合个人陈述、组内互评结果以及各阶段的观察记录，形成每位学生的过程性考核得分。

5. 实施效果与反馈

5.1. 学生学习效果数据

为系统评估融合实践的教学效果，本研究在试点班级开展了问卷调查与学习效果分析。数据显示，77.48%的学生认为 3D 打印技术有助于理解抽象的机械原理，62.9%的学生认为自己的空间想象力得到明显提升。学生普遍反映，“看得见、摸得着”的实物模型使复杂的机构运动变得形象化、具体化[11]。此外，76.69%的学生认为通过项目实践提高了工程意识与创新能力，从被动接受知识转向主动探索设计方案，从纸上谈兵转向动手试错迭代。

在学习动机层面，71%的学生对 3D 打印技术应用于课程教学表示“非常感兴趣”，认为这种设计 - 打印 - 测试一体化的学习方式更能激发学习主动性。项目式学习还促进了学生对所学知识的综合运用，学生在设计报告中普遍能够结合齿轮强度校核、连杆运动分析、材料力学性能等理论知识解释设计选择的依据，体现了知识迁移能力的提升。

5.2. 学生定性反馈

从课堂观察和深度访谈记录来看，3D 打印技术的引入显著改变了课堂生态。学生从被动听讲转向主动参与，课堂上围绕设计方案的讨论明显增多。多名学生在访谈中表示：“以前学机械设计就是在纸上画图，不知道做出来到底能不能动。现在自己设计、自己打印、自己测试，错了就改，特别有成就感。”还有学生提到：“看到自己设计的齿轮真正啮合传动、鱼尾真正摆动起来的时候，才真正理解了传动比、压力角这些概念意味着什么。”另有学生反馈：“在迭代过程中发现，理论计算只是第一步，材料收缩、装配间隙、支撑去除这些实际问题都需要自己摸索解决，这是课本上学不到的。”

教师观察也印证了上述变化：学生在小组合作中表现出更强的责任意识和沟通能力，项目式学习促进了深度学习，学生不再满足于“完成作业”，而是主动寻求性能优化和创新突破。

5.3. 竞赛成果与社会影响

值得关注的是，部分优秀作品已进入试制环节，实现了教学成果向工程应用的初步转化。例如，智能仿生机器鱼的尾鳍摆动机构设计获得了涉海企业的关注，企业工程师对学生作品中体现的系统化设计思维给予肯定，同时也从材料耐久性、密封可靠性等方面提出了改进建议。这种“教学-竞赛-产业”的三级转化链条，为学生提供了真实工程情境下的学习机会，增强了职业认知与工程素养。

此外，课程设计产出的教学案例已纳入课程案例库，成为后续教学的固定资源。学生撰写的设计报告和技术文档也为教学指导书的修订提供了鲜活素材。

5.4. 教学条件与资源建设成效

为支撑融合实践的可持续运行，项目同步推进了教学条件建设。在硬件平台方面，配置了 FDM 与光固化 3D 打印机、三维扫描仪及后处理设备，按功能划分为创意设计区、打印操作区、装配测试区和成果展示区，支持学生从概念构思到功能验证的完整实践流程。在师资队伍方面，组建了由机械设计、工业设计、材料科学及教育技术专业教师构成的跨学科教学团队，定期开展集体备课与教学研究。在课程资源方面，编写了教学指导书和实训案例集，开发了涵盖机构运动、零件设计等核心内容的典型教学案例，建立了设备使用规范、安全操作规程与耗材管理制度，保障教学高效有序运行。这些资源建设成果为融合实践模式的可复制、可推广奠定了坚实基础。

5.5. 存在问题与改进方向

尽管融合实践取得了初步成效，但在实施过程中也暴露出若干问题。其一，3D 打印的技术局限性。部分学生反映 3D 打印耗时较长，实验室开放时段有限，导致迭代次数受到制约[12]。后续计划引入课内集中打印和课外预约开放双轨制，并增加设备台数以提高吞吐量。其二，任务难度梯度的精准匹配。分层任务设计中挑战层对部分学生难度偏高，导致少数学生产生畏难情绪。后续将细化挑战层的辅助指导，提供模块化参考设计方案作为脚手架。其三，团队协作评价的有效性。跨学科教学团队的协作机制尚需制度化，后续将建立每月一次跨学科联合教研的固定机制。其四，跨学科教学团队的协作机制尚需制度化。当前评价体系对创新能力的考核权重仅占 10%，后续研究将探索适当提高创新维度权重，进一步强化对学生原创思维的引导。

6. 结论

本研究提出并验证了 3D 打印技术赋能下“理论讲授-软件操作-分组设计-快速打印验证-迭代优化”五阶段教学路径，构建了课堂学理论、课程练技能、竞赛促创新、反馈优课程的闭环融合实践。以智能仿生机器鱼项目在机械设计基础课程中的实施为例，研究表明：3D 打印的快速成型与低成本迭代特性有效弥合了课堂与赛场间的鸿沟，降低了实物验证门槛；五阶段路径兼顾教学系统性与竞赛能力培育，为融合实践提供了可操作框架；而“以造促学、以赛促改”则通过实物制造倒逼学生关注设计可行性与工程细节，同时以竞赛目标激发内在驱动力。尽管当前研究存在实验周期较短、样本量有限等不足，后续将在更长时段内追踪持续效果，并在更多机械类课程中检验其普适性。总体而言，该路径为机械类工程教育改革提供了一条值得深入探索的新思路。

致 谢

感谢基金项目“2023 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目：3D 打印技术在机械设计基础教学中的探索与实践”的支持。感谢 Deepseek\ChatGPT 在论文语言、图形润色方面提供的帮助。

参考文献

- [1] 刘国栋, 王文中, 李朝将, 等. 3D 打印技术在机械工程基础课程教学中的应用研究[J]. 大学教育, 2025(21): 7-12.
- [2] Liu, J., Hou, Y., Xiao, L., He, S. and Li, J. (2023) The Application of 3D Printing Technology in the Teaching of Mechanical Design Fundamentals in Higher Vocational Education. *International Journal of Mathematics and Systems Science*, 6, Article No. 2767. <https://doi.org/10.24294/ijmss.v6i3.2767>
- [3] 闫英, 孟磊, 耿志超, 等. 新工科背景下基于 3D 打印技术的机械设计基础教学改革探索[J]. 实验室科学, 2022, 25(3): 117-120.
- [4] 周平, 孟磊, 耿志超, 等. 3D 打印技术在机械设计实践教学精度问题探讨[J]. 实验室科学, 2021, 24(3): 14-17.
- [5] 孙志娟, 牛亚尊, 孔繁腾. 基于 UG 软件建模的 3D 打印技术在职业院校“机械设计基础”课程中的应用[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(19): 62-63.
- [6] 李俏, 伍先明, 王鹏程, 等. 3D 打印技术在教学中的应用——以“机械设计课程设计”为例[J]. 工业和信息化教育, 2020(4): 42-44.
- [7] 李永湘, 何晓芬, 马秀勤, 等. 3D 打印在机械原理课程教改中的应用[J]. 内燃机与配件, 2021(5): 214-215.
- [8] 孙建芳, 陈泽达, 唐邕涛, 等. FDM 3D 打印技术在“机械设计基础”探究性教学实践中的应用[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50(7): 87-91.
- [9] 陈小军, 毛湘粤, 郑若仙, 等. 3D 打印技术在机械设计基础课程教学中的应用[J]. 中国教育技术装备, 2024(16): 38-44.
- [10] 邝治全. FDM 3D 打印技术在机械设计基础课程中的应用——以平面连杆机构单元为例[J]. 广东职业技术教育与研究, 2019(2): 107-110.
- [11] 林春宇. 基于 UG 建模的 3D 打印技术融入《机械设计基础》课程的改革[J]. 装备制造技术, 2020(9): 120-121+124.
- [12] 袁永烨. 3D 打印在机械设计教学中的应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(10): 168-169.