

基于全流程能力培养的逆向工程课程改革与实践

李心茹*, 张琳琅, 熊琛琛, 柯鑫, 吴娇

武汉华夏理工学院智能制造学院, 湖北武汉, 中国

*通讯作者

【摘要】逆向工程及软件应用是工科专业培养学生工程数字化设计能力的核心课程, 契合新工科建设对高素质应用型人才的培养需求。当前课程普遍存在理论课程学生参与度低、实验环节数据采集方法单一、上机建模环节缺少思维能力培养、与后修课程脱节等问题, 难以系统性塑造学生全链条工程实践能力。针对上述教学痛点, 本文提出全流程能力融入的课程改革思路, 通过教学内容及教学方法改革, 建立以能力达成为核心的全过程多元考核机制, 形成一套完整的课程教学改革实施方案。教学实践验证表明, 该改革方案有效破解传统课程能力培养不系统的痛点问题, 全方位提升了学生数据采集、逆向建模与工程运用综合素养, 为工科实践类课程系统化、能力化教学改革提供了新颖、可复制的实践范式。

【关键词】逆向工程; 课程改革; 能力培养; 数据采集; 数字化设计

【基金项目】武汉华夏理工院校级教学改革研究项目(2203)一面向3D打印方向的逆向工程课程教学模式改革与实践

1. 引言

随着智能制造、数字孪生与工业逆向设计技术的深度普及, 制造业正加速向数字化转型, 行业对工科人才的数字化工程实践能力与产品研发创新能力提出了更高标准的要求。材料成型及控制、智能制造等工科专业对学生数字化设计与工程实践能力的培养要求持续提升。逆向工程及软件应用衔接产品数据采集及逆向建模, 与3D打印课程衔接, 能实现产品的创新设计和快速原型制造[1]。课程的教学质量直接影响学生的数字化工程思维、软件实操能力与工程创新素养。立足全流程能力培养, 开展课程改革, 对助力工程教育高质量发展具有重要现实意义与实践价值。

2. 逆向工程课程在能力培养中存在的主要问题

逆向工程及软件应用课程教学在理论教学、实验实训、上机实操、课程体系建设等环节存在能力培养缺失问题。整体教学偏重知识传授及基础技能训练, 忽视学生工程思维、创新能力、设计能力和自主学习能力的提升, 具体问题如下[2]:

2.1 理论教学模式僵化, 学生综合素养培育缺失

当前逆向工程课程理论教学普遍沿用传统“满堂灌”的单向授课模式, 教学核心聚焦课本理论、设备原理、软件基础等固有知识点, 教学形式单一、缺乏创新性与探究性教学设计。

课堂以教师被动讲授为主, 学生仅能机械记忆理论内容, 缺少自主思考、探究钻研的学习空间, 难以结合工程实际场景完成知识转化与应用, 自主学习能力得不到有效锻炼[3]。同时, 课程理论课堂缺少成果展示、课堂交流等互动环节, 忽视对学生工程思维、语言表达及团队沟通能力的培养。此外, 教学过程鲜有融入行业前沿研究与应用、专业文献研读、典型工程案例拓展等教学内容, 导致学生缺乏文献检索、信息整合、学术思辨的基础能力, 综合素养培养存在明显短板, 与新工科人才综合能力培养目标相悖。

2.2 实验实训形式固化, 学生工程问题解决能力不足

数据采集与三维扫描实验是逆向工程实操教学的重要环节, 工业实际场景中不同材质、颜色、结构、曲面特征的产品, 对预处理、扫描方式、设备参数调试有着差异化要求, 对学生的实操应变能力提出较高要求。但目前课程实验教学存在内容高度固化, 统一采用标准实训工件、固定扫描流程开展教学, 实训步骤标准化、模板化, 学生只需照搬流程即可完成实训任务。同质化的实操训练模式, 使学生无需自主分析产品特征、调试设备参数、排查实操故障, 无法接触标志点粘贴、产品翻面、扫描盲区等工程常见问题。单一化的实训教学, 导致学生实操视野狭窄, 缺乏应对差异化、复杂化产品的实操经验, 面对多样化工程场景时难

以独立解决扫描实操问题,工程实战能力培养不足[4]。

2.3 上机实操依赖模仿, 学生独立思考能力较为薄弱

逆向建模上机实操教学中,教师应引导学生建立独立的建模分析与思考能力。但现阶段上机教学普遍采用“教师演示、学生复刻”的教学模式,从产品结构分析、建模思路规划到软件操作步骤,均由教师示范,学生通过模仿即可完成建模。这种教学模式下,学生无需自主思考建模方法与步骤,独立分析问题、自主规划设计的核心能力得不到锻炼,仅能掌握基础软件操作技能,形成依赖性思维,面对复杂建模场景时,缺乏独立建模的能力。

2.4 课程体系衔接脱节, 缺乏全流程递进式育人设计

逆向工程及软件应用课程需为后续3D打印、模具设计、成形数字化综合实训课程提供支撑。但当前课程教学设计忽视与后修课程的能力衔接,缺乏知识迁移、能力拓展的系统性教学设计,学生习得的逆向建模及数字化设计能力无法有效延续、深化,向快速成型递进。整体教学无阶梯式、全流程的能力培育逻辑,割裂了工程能力养成的连续性,难以实现学生工程实践能力的提升,无法适配系统化工程人才培养需求[5]。

综上所述,现阶段逆向工程课程在理论、实操、上机、课程体系构建四个方面均存在能力培养缺失问题。本次课程改革计划构建全流

程能力培养体系、重构课程教学模式,实现逆向工程及软件应用课程的全流程能力培养。

3.基于全流程能力培养的课程改革与实践

针对逆向工程及软件应用课程传统教学中存在的问题,从理论教学、实验训练、上机实操、课程体系衔接四个维度开展系统性课程改革。改革坚持以学生主体、立足全流程能力培养的育人原则,覆盖理论研习、实操训练、独立建模及能力迁移,实现学生自主学习能力、工程实践能力、独立思考能力与系统化工程素养的培养。

3.1 多元混合式理论教学育人模式

3.1.1 课程改革

为破解传统理论课堂“满堂灌”带来的学生自主学习能力弱、文献素养不足、表达沟通欠缺等问题,本次课程改革推行翻转课堂教学模式,重构理论教学组织形式与学习评价方式,转变教师单向讲授、学生被动接收的传统格局。在基础理论讲授环节,教师仅聚焦数据采集系统组成、工作原理及操作流程等重难点知识进行精讲点拨,压缩重复性、基础性理论授课时长。课后依托课程学习平台布置知识图谱线上学习及文献专题研学任务,以小组为单位开展文献检索、研读与讨论活动,聚焦三坐标测量、光栅式扫描测量、手持式激光扫描测量、关节臂式测量等主流逆向测量技术的研究进展、适用场景及技术优势开展系统性学习,并进行成果汇报。理论教学改革方案如图1所示。

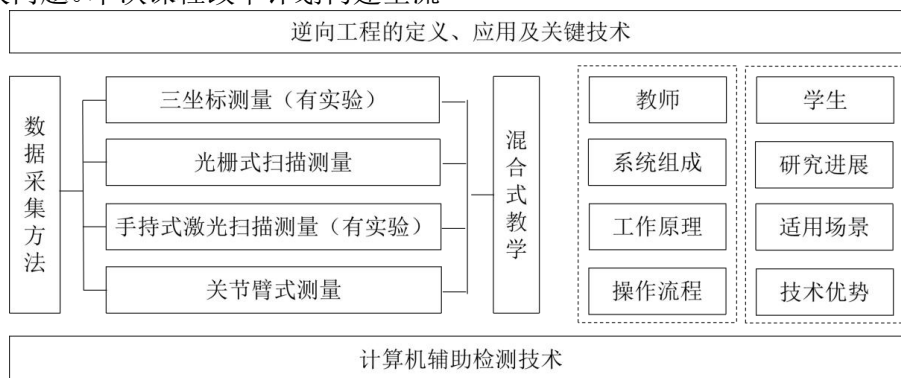


图1.理论教学改革方案

3.1.2 实践

课堂教学阶段翻转课堂增设小组文献汇报、师生互评等教学环节,各小组结合研读成果梳理不同测量技术的研究进展与应用边界,针对技术痛点、工程适配场景展开交流讨论。

翻转课堂中学生文献汇报情况:

第一组-三坐标测量-《双悬臂三坐标测量在整车测量中的应用》[6]

第二组-光栅式扫描测量-《博物馆文物三维数据采集技术探析》[7]

第三组-手持式激光扫描测量-《手持式三维激光扫描仪在地下矿山生产中的应用研究》[8]

第四组-关节臂式测量-《关节臂测量机在数控加工同轴度检测中的应用》[9]

图2为学生整理的博物馆文物三维数据

采集中光栅式扫描测量的应用情况汇报内容节选。

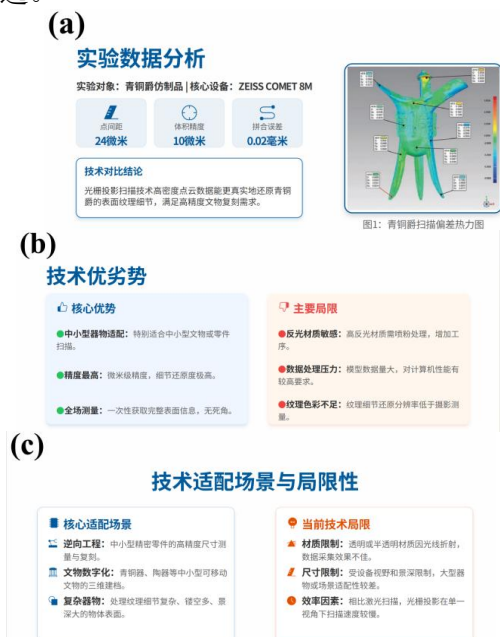


图 2.文物数据采集中 (a) 光栅式扫描测量的应用; (b) 光栅式扫描测量的技术优劣势; (c) 光栅式扫描测量的技术适配场景与局限性

线上教学资源依托学习通平台创建了全流程知识图谱,涵盖理论、实验、上机基本操作及与后修课程递进衔接的线上课程。各环节知识点示例如图 3 所示。

多元混合式教学的教学改革,有效倒逼学生开展自主探究式学习,系统锻炼了专业文献检索、筛选、归纳与提炼能力,同时借助团队协作、成果汇报、课堂交流等环节,全面提升学生的语言表达、逻辑思辨与团队沟通能力,实现理论知识学习与综合素养培育的有机统一。

3.2 多元化实操能力训练

3.2.1 课程改革

针对传统实验课程数据采集方法单一、实训场景固化、学生工程问题解决能力不足的短板,本次改革构建多类型、差异化的实操训练体系,着力培养学生的实操应变与问题解决能力。测量方法打破单一扫描实训模式,涵盖接触式与非接触式两大主流测量技术,开设三坐标测量及手持式激光扫描测量两类实验,助力学生掌握不同测量方式的操作规范、参数设置、适用场景及应用特点。测量对象摒弃单一标准化实训工件,引入差异化的实训模型,在手持式激光扫描实验中,设置涵盖不同形状、颜色、材质及尺寸的测量对象。学生以小组为单位开展分组扫描测量。



图 3.知识图谱各环节知识点示例 (a) 理论教学; (b) 上机基本操作; (c) 实验教学; (d) 后修课程衔接

3.2.2 实践

在 2022 级材料成型及控制工程专业两个班级间进行了实践对比。2 班未进行手持式激光扫描测量的多对象实验教学。1 班进行了手持式激光扫描测量实验,以哆啦 A 梦存钱罐、拨叉、洗衣液瓶身及玩具车等多类型产品作为测量对象。实验前教师通过讲授与演示结合的

方式进行 20 分钟的导入、设备连接、软件功能介绍、测量仪操作、分组及任务布置的实验教学。学生针对不同测量对象的结构特点、材质属性选择标志点的粘贴位置及扫描方案，规

避扫描盲区，并调试设备参数，自主解决实操过程中出现的翻面失败、数据缺失等各类实际问题。手持式激光扫描多对象测量实验情况如表 1 所示。

表 1.多对象测量实验情况

手持式激光扫描测量实验				
组别	1	2	3	4
测量对象	哆啦 A 梦存钱罐	拨叉	洗衣液瓶身	玩具车
预处理	无需着色	无需着色	瓶盖半透明塑料材质需喷着色剂	黑色塑料需喷着色剂
翻面标志点位置	头顶	手柄侧面平坦处	瓶身侧面平坦处	车底平坦处
习得经验	标记点不能够贴在特征处或曲率变化较大的位置	测量对象较小时将标志点贴于辅助工具完成测量	平面或曲率变化较小的测量对象无需过多标志点	根据翻面标志点贴装位置确定测量对象摆放方式

在后修课程成形数字化综合实训的教学环节中，进行了操作讲解与演示后，将每个班分为若干小组，分别扫描球形鲁班锁的若干零件，采集零件表面数据。对比发现，2 班存在翻面失败，非必要性的曲面贴点及扫描速度慢等问题。1 班学生进行扫描前，通过分析测量对象翻面前后的摆放方式，避免了球面处标志点的粘贴，零件本身仅贴装了 3-4 个标志点进行翻面；扫描过程中，重点对边线及曲面位置进行了扫描，翻面时操作更加娴熟，扫描速度更快。

实践结果表明，多样化的实验载体与测量方式，有效拓宽了学生实操视野，彻底改变了学生照搬流程、机械操作的实训现状，显著提升了学生适配不同产品、不同工况的工程实操与问题排查能力。

3.3 独立建模的上机教学模式

3.3.1 课程改革

为解决传统上机教学“全程演示、机械复刻”导致学生独立思考能力薄弱、建模思维固化的问题，本次改革摒弃教师全过程示范、学生照搬操作的固化教学方式，建立“基础操作点拨、建模思路自主、考核随机抽测”的全新实操训练体系，聚焦培养学生独立建模思维与数字化分析能力。在上机教学环节，教师不再对完整逆向建模流程进行标准化演示，仅针对软件基础操作、核心功能指令、建模基础规范等共性知识点进行精准讲解与示范，重点点拨不同结构建模的核心难点、关键技巧、功能使用报错原因，预留充足的自主思考与实操探索空间。针对不同结构特征的模型，教师通过碎片化、针对性的操作演示，引导学生自主总结建模规律，形成独立的建模逻辑。日常实训过程中，要求学生结合产品结构特征自主分析建模思路、规划建模流程，摆脱对教师演示的依

赖。在课程考核环节，采用抽测模式，随机抽取零件作为考核模型，要求学生在无流程参考、无全程演示的前提下独立完成模型结构分析、逆向重构、优化修正等全流程建模工作。测试结束后，评选出建模思路精简、体偏差小的作品进行成果展示。

3.3.2 实践

使用 Geomagic Design X 进行逆向建模。在日常上机教学中，学生习得面片封装、领域划分、参考几何图形、对齐、草图、面片草图、约束、创建实体、创建曲面、实体编辑、曲面编辑、阵列、圆角及测量等基础操作及各功能无法达成的原因，并通过实例分析对建模思路形成初步了解，为上机测试打下坚实基础。上机测试的考核评价内容包括基础操作、建模思路及建模效果三个部分。基础操作占比 40%，考核基本功能的使用情况；建模思路占比 40%，考核模型分析及自主思考能力；建模效果占比 20%，依据体偏差色谱图进行评分，考核学生对建模精度的控制能力，并强调建模精度的重要性。上机测试抽取的建模对象如图 4 所示。

图 5 建模过程对比情况表明，学生建模思路存在差异，为自主思考后独立建模的成果。测试结束后，对建模思路精简、体偏差小的作品进行了成果展示，并对建模思路不清晰的学生进行了针对性指导。

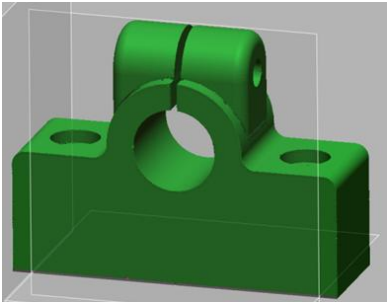


图 4.上机测试建模对象

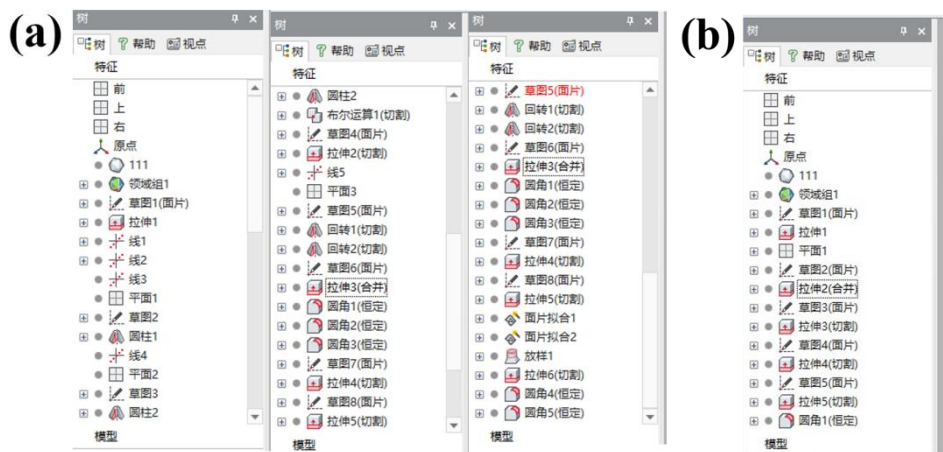


图 5.建模过程对比情况 (a) 步骤最多; (b) 步骤最少

该教学模式倒逼学生主动思考、自主探究,有效破除了机械模仿的固化思维,全方位锻炼了学生独立分析模型结构、自主设计建模方案、灵活解决建模难题的能力,切实提升了学生数字化设计与工程思辨核心素养。

3.4 搭建递进式全流程育人体系

3.4.1 课程改革

针对传统课程与后修课程衔接脱节的问题,本次改革充分发挥逆向工程及软件应用课程数字化基础能力培育的前置作用,打通课程教学、综合实训、毕业设计的能力培育链条,实现学生工程能力的递进式提升。

3.4.2 实践

依托学生掌握的数据采集、逆向建模等核心能力,衔接后续 3D 打印课程,实现“数据采集—逆向建模—3D 快速成型制造”的技术贯通,让学生将逆向设计能力快速应用于增材制造实操,实现知识与能力的有效迁移[10]。同时,紧密对接成形数字化综合实训课程,将本课程的数字化设计技能融入产品结构优化、模具设计及数字化成型等综合实训环节,强化工程能力的综合运用。此外,针对逆向工程方向的毕业设计,引导学生依托课程所学技术方法,开展产品逆向重构、结构优化、数字化创新设计等毕业设计研究。实现基础能力、综合能力、创新能力的阶梯式提升。通过全链条课程衔接设计,彻底解决了传统教学能力培养断层问题,构建了完整的工程能力培育闭环。

3.5 能力导向的多元化考核评价方式

改变对学生原有的单一化评价,建立多元化考核评价体系[11]。考核环节包括过程考核和终结性考核,其中过程考核及终结性考核均占 50%,改变了重理论、轻能力培养的考核方式[12]。过程考核包括出勤、实验、作业(含成果汇报)及随堂上机测练。其中,实验及作

业分别依据动手能力及解决实际问题的能力、文献阅读与沟通表达能力进行评判。上机测试从基础操作、建模思路及建模效果三个部分进行了考核,贯彻能力导向的考核评价方式。

综上,本次课程改革从理论教学形式、实验实训载体、上机教学模式、课程育人体系四个维度进行全方位优化升级,精准对标传统课程能力培养的各类短板,形成了“研讨研学赋能素养、多元实训锤炼技能、自主建模启迪思维、课程贯通递进育人”的全流程能力培养模式,同时,形成了多元化考核评价方式。改革实现了理论素养、实操技能、创新思维、综合工程能力的一体化递进培养,为新工科背景下材料成型及控制、智能制造专业数字化工程人才的高质量培养提供了坚实的教学支撑。

4.结束语

围绕逆向工程及软件应用课程传统教学中存在实践场景单一、学生被动模仿、能力培养碎片化等问题,本文构建基于全流程能力培养的课程改革方案并开展教学实践。课程依托翻转课堂组织理论教学,通过小组文献研读与汇报,引导学生系统接触多种数字化测量技术,有效锻炼学生文献研读、自主探究与团队交流表达能力。实验教学拓展接触式与非接触式多类数据采集手段,选取特征差异化实体开展扫描实验,促使学生直面测量实操中的问题,提升工程实践应变能力。上机教学转变示范模式,仅讲解基础操作而不完整演示建模流程,依托随机抽选零件开展独立建模考核,倒逼学生自主构建建模逻辑,强化数字化建模与独立分析能力。同时打通本课程与 3D 打印、成形数字化综合实训、逆向工程方向毕业设计的教学链路,搭建递进式连贯培养体系,实现逆向设计全流程能力持续培育。

参考文献

- [1] 刘坡, 刘政, 刘运强, 等. 逆向工程与增材制造教学研究与实践探索[J]. 创新创业理论研究与实践, 2023, 6(21): 46-48.
- [2] 王凤梅, 邬向伟, 赵佳旭, 等. 基于新标准的逆向工程与 3D 打印实践教学改革探析[J]. 中州大学学报, 2025, 42(6): 107-113.
- [3] 曹剑飞, 徐绍娟, 李萌崛, 等. CDIO 工程教育模式下《逆向工程与快速成型技术》课程的教学改革研究[J]. 模具工业, 2023, 49(9): 79-81+86.
- [4] 张小雪. 面向实践能力培养的逆向工程技术教学探索[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(11): 202-206.
- [5] 李培, 赖春明, 谭倩, 等. 逆向工程技术课程教学改革研究[J]. 现代农机, 2022, (6): 96-99.
- [6] 吕昊, 吴庆亮, 张冬, 等. 双悬臂三坐标测量在整车测量中的应用[J]. 汽车实用技术, 2024, 49(23): 121-126.
- [7] 李洋. 博物馆文物三维数据采集技术探析[J]. 博物馆管理, 2020, (3): 80-89.
- [8] 刘国喜, 张君, 樊晋鹏, 等. 手持式三维激光扫描仪在地下矿山生产中的应用研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2025, 77(2): 59-66+72.
- [9] 马秀明. 关节臂测量机在数控加工同轴度检测中的应用[J]. 中国机械, 2023, (33): 24-28.
- [10] 常青青, 黎顺, 王文豪. 基于逆向工程与 3D 打印技术的创新设计与教学改革[J]. 装备制造技术, 2026, (2): 62-65+75.
- [11] 魏枫展, 毕文波, 刘璐, 等. 基于 3D 扫描的逆向建模实验教学研究与实践[J]. 创新创业理论研究与实践, 2022, 5(19): 38-41.
- [12] 范恒亮, 魏天路, 王超. 新工科背景下逆向工程技术课程改革与实践[J]. 绥化学院学报, 2021, 41(8): 128-131.