

项目式数控编程与加工技术课程设计与实践

王勇 王怀文 刘冰 王东爱 张晶 余文沁

天津商业大学机械工程学院, 中国·天津 300134

摘要: 在数字化转型推动工程教育改革的背景下, 传统数控编程与加工技术课程存在理论与实践脱节、创新思维培养不足等问题。本研究基于工程教育理念, 构建了“三维建模-数控仿真-数字孪生”一体化项目式教学模式, 以复杂曲面零件为载体, 深度融合三维建模、多轴加工仿真及数字孪生技术。通过开发包含工艺参数优化和仿真模块的实训项目, 形成“建模设计-虚拟调试-孪生验证”的递进式教学体系。实践表明, 该模式显著提升了学生的数控编程和工艺优化能力, 并通过数字孪生技术实现了虚实加工过程的实时映射与优化。本研究为机械类专业课程改革提供了创新性教学方案, 为培养适应智能制造需求的工程人才提供了有效路径。

关键词: 项目式; 数控编程与加工技术; 教学改革

Course Design and Practice of Project-based NC Programming and Machining Technology

Wang Yong, Wang Huaiwen, Wang Dongai, Zhang Jing, Yu Wenqin

School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Commerce, China Tianjin 300134

Abstract: Under the background of digital transformation promoting the reform of engineering education, there are some problems in the traditional course of NC programming and machining technology, such as the disconnection between theory and practice and the lack of innovative thinking training. Based on the concept of engineering education, this study constructs an integrated project-based teaching mode of "3D modeling-NC simulation-digital twinning", which deeply integrates 3D modeling, multi-axis machining simulation and digital twinning technology with complex curved parts as the carrier. A progressive teaching system of "modeling design-virtual debugging-twin verification" is formed by developing training projects including process parameter optimization and simulation module. The practice shows that this mode significantly improves the students' ability of NC programming and process optimization, and realizes the real-time mapping and optimization of virtual and real machining process through digital twinning technology. This study provides an innovative teaching scheme for the curriculum reform of mechanical specialty and an effective path for cultivating engineering talents to meet the needs of intelligent manufacturing.

Keywords: Project type; NC programming and machining technology; Reform in education

0 引言

传统教学模式以知识传授为主, 忽视了学生实践能力与创新思维的培养。项目式学习 (Project-Based Learning, PBL) 作为一种以学生为中心的教学方法, 通过实际问题激发学生的主动学习和批判性思维^[1]。在数控编程与加工技术课程中, 采用项目式教学能够有效提升学生的动手能力和工程实践能力, 同时培养团队协作与问题解决能力^[2]。

本研究以复杂曲面零件为载体, 结合三维建模、数控仿真、加工工艺及数字孪生仿真等技术, 构建了一体化项目式教学体系^[3]。通过 NX 软件进行零件设计, 利用 VERICUT 数控仿真平台优化工艺参数, 结合 CMVM 数字孪生技术实现虚拟装配与加工过程的实时映射。这种教学模式不仅帮助学生掌握理论知识, 还能通过实际项目提

升工艺规划能力与数字化工具的应用水平。

1 项目式课程设计

1.1 课程目标

在课程设计中, 明确的课程目标是成功实施项目式教学的关键。本课程以数控编程与加工技术为核心, 融合建模、仿真、工艺及数字孪生等技术, 旨在培养学生的实践能力、创新思维和工程应用能力^[4]。具体目标包括: ①掌握复杂零件的三维建模。②熟练运用 VERICUT 等数控仿真软件, 进行虚拟加工过程验证。③能够分析零件加工需求, 制定合理的工艺方案, 并通过仿真验证工艺的合理性。④能够利用 CMVM 等数字孪生平台, 实现虚拟装配与加工过程的实时映射。⑤能够学习到沟通与协作的重要性, 掌握项目计划与进度管理的方法。⑥能够在实际项目中, 综合运用先进技术, 解决复杂零件的编程与加工问题, 培

养工程实践与创新能力。

1.2 课程实施的组织和管理的

课程实施的组织与管理是保障项目式教学有效开展的核心。本课程组建由数控编程专业教师、加工工艺教师、数字孪生技术开发人员及企业导师构成的多维教学团队,形成“建模设计-仿真验证-加工实践-孪生优化”全链条教学架构^[5]。

课程负责人统筹项目设计与资源协调,重点规划三维建模(NX)、数控仿真(VERICUT)、工艺优化(CAM模块)与数字孪生(CMVM)四阶段教学流程^[6]。数控仿真教师负责虚拟加工环境搭建与工艺参数验证,指导学生通过仿真优化切削路径^[7]。企业导师团队提供发动机缸体等典型零件的加工案例,并参与数字孪生平台的调试^[8]。

每阶段设置“建模评估→仿真结果比对→加工质量检测→孪生映射验证”四级评价节点。通过数字孪生技术实现机床状态监控,强化学生对加工过程的全要素认知^[9]。

1.3 课程内容与教学方法

本课程以项目式教学为核心,设计了数控基础理论学习、实践教学部分和项目评估三个主要环节,旨在培养学生的工程实践能力、数字化工具应用能力和解决复杂工程问题的能力。课程总学时为 48 学时,具体内容如下:

1.3.1 数控基础理论部分

理论学习部分主要围绕数控编程与加工技术的核心知识展开,帮助学生构建扎实的理论基础。图 1 为开展项目式教学,采用 NX 软件完成数控编程。

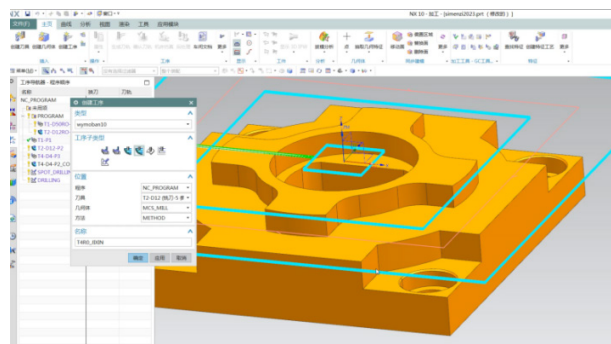


图1 NX软件下完成基础数控编程

1.3.2 实践教学部分

实践教学部分以复杂曲面零件为载体,帮助学生掌握数控编程、零件加工操作技能。实践操作强调团队协作,学生分组完成项目任务,每组由指导教师全程指导,提升动手能力和工程实践能力^[10]。

1.3.3 项目评估

项目评估分为阶段评估和最终评估两部分,采用动态

反馈机制,确保学生在学习过程中不断改进与提升。指导教师根据学生在建模、仿真、加工和装配阶段的表现,评估其理论知识掌握程度与实践操作能力。通过团队内部讨论与交流,学生能够发现自身不足并提出改进方案,培养批判性思维与自我反思能力。最终评估包括数控理论知识熟悉情况、零件加工实践操作能力和团队合作表现。

2 机床装配和虚拟仿真实践

2.1 数控项目式教学准备

在课程实施前,课程组需进行全面的教学准备工作,主要包括教学环境、教学设施、数字化资源以及课程资源的开发与整合,重点围绕建模、数控仿真、加工工艺及数字孪生仿真等技术展开。图 2 为进行数控仿真,采用 3D builder 构建机床装配模型。

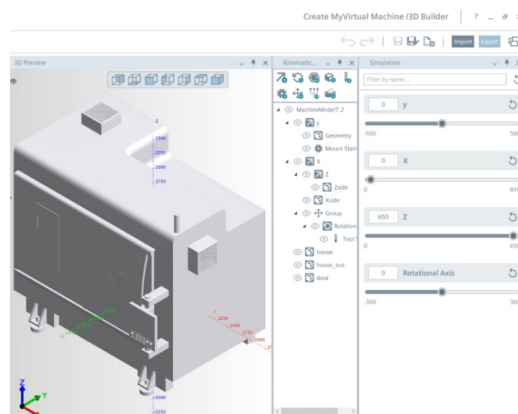


图2 3D builder构建机床装配教学模型

教学环境的搭建是项目式教学成功实施的基础。本课程采用“虚实结合”的教学环境,结合理论学习与实践操作,为学生提供沉浸式的学习体验。虚拟环境包括搭建基于 NX、VERICUT 及 CMVM 的数字化教学平台。实体环境包括配备数控机床、测量设备及数字化加工实验室,确保学生能够完成实际加工与装配操作^[11]。教室布局包括采用灵活分组的教室设计,支持理论讲解、建模设计、仿真验证及团队讨论等多种教学形式的无缝切换。为完成复杂曲面零件的五轴数控仿真,采用 VERICUT 建立 DMU75 monoBlock 机床加工教学环境。

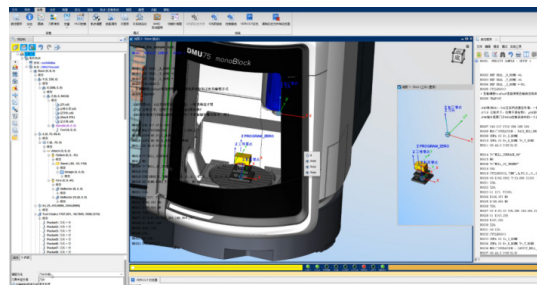


图3 基于VERICUT五轴加工教学环境

教学设施的完善是保障教学效果的关键。加工设备包括三轴、五轴数控机床、三坐标测量仪及激光切割设备,满足复杂曲面零件的加工需求。辅助工具包括工装夹具及测量工具,支持学生完成零件加工与装配实验。图4为完成零件测量和加工,采用蔡司三坐标和牧野加工机床。



图4 三坐标测量机和数控机床的实体测量与加工环境

课程资源的开发是提升教学创新性的核心。仿真案例库包括构建基于 VERICUT 的典型零件加工仿真案例库,涵盖不同加工工艺与刀具路径规划方案。数字孪生平台包括开发虚拟装配与加工过程的数字孪生模型,支持学生进行虚实结合的工艺验证与优化。图5、6、7为不同环境下的教学案例库。

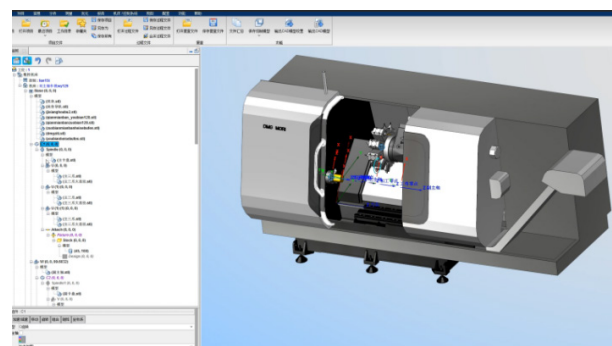


图5 VERICUT下的双主轴单刀塔车铣复合加工案例库

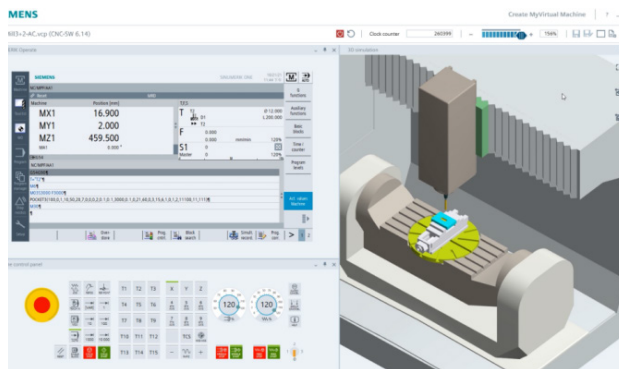


图6 CMVM下的五轴数字孪生案例库

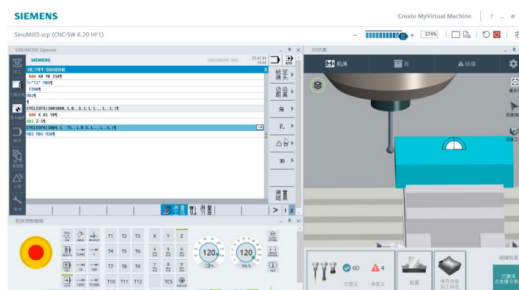


图7 虚拟3D测量案例库

2.2 数控项目式教学实施

本课程以项目式教学为核心,设计了人员组织、任务发布、教学实施和成果验收四个环节,旨在培养学生的工程实践能力。以下是具体的实施过程:

2.2.1 人员组织

为确保课程实施效果,采用自愿报名与择优选拔的方式,从每批次学生中选拔30名学生参与课程。在第一次课程动员中,向学生详细讲解课程目标、实施过程及考核方式,激发学生的学习兴趣。通过线上平台进行理论知识测试,涵盖建模、编程及工艺等内容,评估学生的理论基础。通过数控实验测试,评估学生的实践能力与动手潜力。根据测试结果,将学生分为5-6人一组,每组成员能力互补,确保团队协作效率。

2.2.2 任务发布

在课程开始前,通过数字化平台向学生发布任务,帮助学生完成理论知识的预习与储备。学生通过线上学习三维软件的使用方法、数控仿真的基本原理及工艺的相关知识。

2.2.3 教学实施

学生使用 NX 软件完成复杂曲面零件的设计,培养设计优化能力。通过设计图纸的分析,明确零件的加工工艺特点。利用 VERICUT 等仿真软件进行虚拟加工,优化刀具路径,验证工艺方案的可行性。学生利用 CMVM 数字孪生平台进行虚拟装配,验证装配可行性^[12,13]。学生在教师指导下完成零件的实际加工,结合数字孪生技术实时监控加工过程,分析加工误差。为适用智能化加工环境,在 NX 软件下建立机器人加工教学实施方案,见图8。

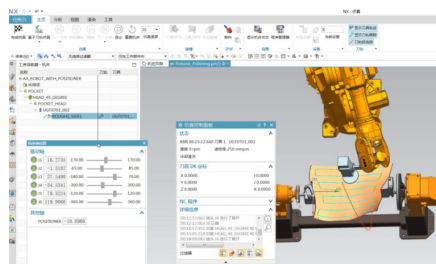


图8 NX机器人虚拟打磨教学实施方案

实践操作强调团队协作,学生分组完成项目任务,每组由指导教师全程指导,提升学生动手能力和工程实践能力。

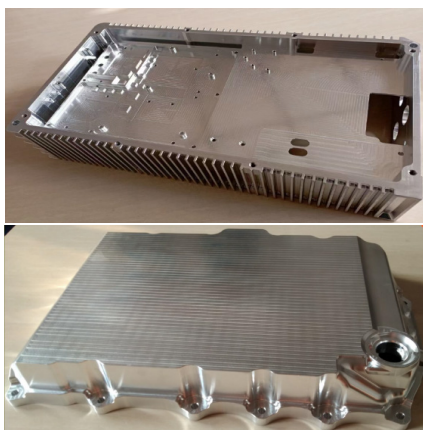


图9 项目式教学实验中加工的零件

2.2.4 成果验收

分为过程验收和最终成品验收两个阶段,采用动态反馈机制,确保学生在学习过程中不断改进与提升。在建模、仿真、加工和装配的关键节点,通过学生自评与互评完成阶段评估。指导教师根据学生在各阶段的表现,评估其理论知识掌握程度与实践操作能力。通过学生答辩、成果展示的形式,全面检验学生的课程知识理解和应用能力。答辩环节不仅评估学生对复杂曲面零件设计与加工技能的掌握程度,还考察其团队合作、项目管理和沟通表达能力。通过答辩,教师能够了解学生在实际操作中遇到的问题与挑战,以及他们解决问题的策略和创新思维,为课程内容的持续改进提供宝贵反馈。

这一过程不仅帮助学生巩固所学知识,还培养了他们的工程实践能力和创新意识,为培养适应智能制造需求的机械专业人才奠定坚实基础。

2.3 项目式教学成果

本课程通过项目式教学改革,显著提升了学生的工程实践能力和数字化创新能力。近两年共培养学生 100 人,学生综合能力与创新意识得到显著强化。通过项目式学习,学生掌握了复杂零件从建模到加工装配的全链条技术。竞赛成果包括学生团队获全国大学生机械创新设计大赛二等奖 1 项,“西门子”智能装备设计与数字孪生制造赛国家级奖 10 项,华北五省机器人比赛 2 项。获批国家级大学生创新创业训练计划项目 1 项,研究方向聚焦于数控仿真算法与数字孪生技术,获发明专利 4 项。课程团队教师通过校企合作培训青年教师 2 名,2 人主导开发了基于 CMVM 的虚拟装配教学模块。



图10 项目式课程中学生参加智能化方面的竞赛

3 结语

随着新一轮科技革命与产业变革的深入推进,数控编程与加工技术作为机械制造领域的核心课程之一,其教学模式的创新至关重要。本课程通过项目式教学改革,以复杂曲面零件加工为载体,结合建模、数控仿真、加工工艺及数字孪生等技术,探索出一条理论与实践深度融合的教学路径。经过两年的教学实践,课程在提升学生综合能力、激发创新意识以及培养适应新时代需求的工程人才方面取得了显著成效。

项目式教学以真实项目驱动学习,使学生在实际问题中掌握专业知识与技能,形成了“虚实结合、学做一体”的教学模式。学生通过团队协作完成从零件设计到整机装配的全链条实践,不仅强化了对数控编程与加工技术的理解,还培养了工程思维、创新能力和团队协作能力。

总之,数控编程与加工技术课程的项目式教学改革,为学生提供了实践创新的平台,也为机械专业课程的现代化教学改革提供了有益借鉴。未来,课程将继续深化产教融合,引入更多先进制造技术与数字化工具,进一步提升课程的创新性和实用性,为培养适应智能制造需求的高素质工程人才做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 董宝光, 杜平, 彭世广等. 基于设计思维的项目式工程训练教学探索与实践——以“制造工程实践”课程为例[J]. 高等工程教育研究, 2025(02):21-27.
- [2] 熊宏齐. 虚拟仿真实验教学助推理论教学与实验教学的融合改革与创新[J]. 实验技术与管理, 2020,37(05):1-4,16.DOE:10.16791/j.cnki.sjg.2020.05.001.
- [3] 高守锋, 尚妍, 金鑫等. 阶梯式项目驱动的工程实践教学教学改革与探讨[J]. 实验室研究与探索, 2023,42(05):179-182,203.DOE:10.19927/j.cnki.syyt.2023.05.036.
- [4] 杜月林, 黄刚, 王峰等. 建设虚拟仿真实验平台探索创新人才培养模式[J]. 实验技术与管理, 2015,32(12):26-

29.DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2015.12.008.

[5] 李祺, 聂为之, 房朝晖等. 基于虚拟仿真技术的线上项目式教学探索[J]. 实验技术与管理, 2022,39(01):199-203.DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2022.01.040.

[6] 朱海龙, 赵成俊, 唐玉辉等. 项目式工程训练课程设计与实践——以桌面式 3D 打印机设计装配课程为例[J]. 实验室研究与探索, 2025,44(03):162-165.DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2025.03.031.

[7] 胡蔓, 赵云龙, 栾晓娜等. 新工科背景下工程训练实践教学模式探索[J]. 实验技术与管理, 2022,39(03):256-259.DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2022.03.048.

[8] 尹文锋, 杜超, 杨林君等. 数控铣削分层次教学设计及实践[J]. 实验室研究与探索, 2017,36(02):249-252.

[9] 魏鹏, 赵首彩. 逆向思维引导下项目式理实融合教学在数控课程中的应用[J]. 模具制造, 2025,25(01):85-87. DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2025.01.028.

[10] 王勇, 黄世瑞, 张晶等. 石墨烯纳米流体微量润滑磨削钨钢的加工性能评价[J]. 制造技术与机床, 2024(12):120-124.DOI:10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.12.015.

[11] 蔡安江, 王沛彭, 王晨曦等. 多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建方法[J]. 吉林大学学报(工

学版), 2024,54(06):1528-1536.DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20221223.

[12] 蔡文站, 田建艳, 王书宇等. 基于 NX MCD 与 TIA 的机器人打磨联合虚拟调试研究[J]. 现代制造工程, 2022(07):37-42,120.DOI:10.16731/j.cnki.1671-3133.2022.07.006.

[13] 林蔚然, 徐伟国, 陈凯等. 实践课程在线教学改革探索——以智能追光光伏发电装置实践单元为例[J]. 实验技术与管理, 2022,39(04):178-180,185.DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2022.04.034.

基金项目: 天津商业大学产教融合专业建设项目; 天津市大学生创新训练计划项目(202510069012); 中国轻工业“十四五”规划教材暨数字化项目 - 面向新工科建设的包装工程专业知识体系构建研究(QGJY2024161); 中国轻工业“十四五”规划教材暨数字化项目 - 基于“创新+工程化”驱动的包装工程专业实验教学体系研究与实践(QGJY2024162); 天津商业大学本科教学改革研究项目(TJCUJG2023)。

作者简介: 王勇(1979-), 男, 汉族, 湖南娄底人, 研究生学历, 研究方向: 数字化制造。