

基于虚拟仿真的线切割实训课程设计

沈珍珍¹, 魏国兵², 刘斌³, 王晓君¹, 李佳¹, 刘静¹, 金翠红¹

¹重庆大学本科生院, 重庆

²重庆大学材料科学与工程学院, 重庆

³重庆机电职业技术大学工商管理学院, 重庆

收稿日期: 2023年3月8日; 录用日期: 2023年5月24日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

电火花线切割加工具有加工精度高、加工质量好、工件表面无切削应力的优点, 能够完成贯通结构的小拐角、窄缝、深径比孔。教学研究中综合了手工趣味编程、数控编程、虚拟仿真, 构建了三位一体的教学模式, 层层推进、虚实结合, 夯实学生实践基础。课程内容安排集工程实践和工程实际于一体, 旨在培养机械类学生在面对复杂工程类问题时发现、分析、解决问题的能力, 解决传统教学模式场地、学时、设备等受限, 学生实践能力培养层次低的问题。

关键词

课程设计, 线切割, 编程, 虚拟仿真, 实践

Design of WEDM Training Course Based on Virtual Simulation

Zhenzhen Shen¹, Guobing Wei², Bin Liu³, Xiaojun Wang¹, Jia Li¹, Jing Liu¹, Cuihong Jin¹

¹Undergraduate School of Chongqing University, Chongqing

²School of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing

³School of Business Administration, Chongqing Vocational and Technical University of Mechatronics, Chongqing

Received: Mar. 8th, 2023; accepted: May 24th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

WEDM has the advantages of high machining precision, good machining quality and no cutting stress on the surface of the workpiece. It can complete the small corner, narrow slot and depth diameter ratio hole of through structure. In the teaching and research, we have integrated the in-

文章引用: 沈珍珍, 魏国兵, 刘斌, 王晓君, 李佳, 刘静, 金翠红. 基于虚拟仿真的线切割实训课程设计[J]. 创新教育研究, 2023, 11(5): 1241-1248. DOI: 10.12677/ces.2023.115190

interesting manual programming, numerical control programming and virtual simulation, and constructed a trinity teaching mode, which can push forward layer by layer, combine the virtual and real, and consolidate the students' practical foundation. The course content arrangement integrates engineering practice and engineering practice, aiming to cultivate the ability of mechanical students to discover, analyze and solve problems in the face of complex engineering problems, and solve the problems of traditional teaching mode, such as limited space, class hours, equipment, and so on, and the cultivation level of students' practical ability is low.

Keywords

Curriculum Design, WEDM, Programming, Virtual Simulation, Practice

Copyright © 2023 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

电火花线切割加工具有加工精度高、加工质量好、工件表面无切削应力的优点，可加工复杂形状和表面，能够完成贯通结构的小拐角、窄缝、深径比孔，在模具加工中起着不可替代的作用[1] [2] [3]。随着信息技术、网络技术、新材料技术等高新技术的发展随着模具行业的快速发展，数控电火花线切割加工技术也沿着更高水平的方向发展。电火花线切割技术在现代模具加工中是一种不可缺少的加工方法，加工编程由 3B 格式、G 代码编程，逐步发展为 CAD/CAM 数控技术编程。在线切割实践教学中，让学生能够熟悉机床结构、原理，能够分析、总结常见问题，理解、优化加工参数和工艺流程，明白如何提高线切割产品质量，扩大其应用前景，对我国精密加工的发展有着深远的意义[4] [5]。

为了让学生既能够充分理解线切割基本理论知识，又能够将实践学习过程与工厂实际生产过程紧密结合，理解实际生产过程中脉冲电流、脉冲宽度、脉冲间隔、走丝速度对切割件表面质量、割缝宽度、加工精度等的影响，教学研究中综合了手工编程、数控编程、虚拟仿真三位一体的教学模式。层层推进，虚实结合，夯实学生实践基础，为理论研究积蓄力量[6]。

2. 虚拟仿真教学在实训课程中的应用

2.1. 线切割实训教学原况

电火花线切割实践项目因课时限制，原先仅是教师讲解设备结构、原理、演示，学生进行简单电脑编程。整个实践过程中无操作环节，学生对这种数控加工技术方法理解不深入，实习效果欠佳，但学生在参与机械创新设计大赛、工程能力综合竞赛、大学生科研训练计划时对该设备的利用率较高。作为一种非常重要的机械加工方法，这一加工技术在机械类学科竞赛、科研项目等活动中有着极其重要的地位，一直以来是学生自主设计制作中设备使用率最高的设备之一。由于教学深度与实际运用之间的极度不协调，学生在实际运用中并不能灵活自如，易导致产品结构不合理、项目工期延长。深化电火花线切割的实践教学，翻新课堂教学方式，旨在加深学生对这一加工方法、技术的深入理解，对机械类学生的创新项目、竞赛、科学研究等都有重要的指导意义。

2.2. 虚实结合教学模式探索

虚拟仿真教学就是利用虚拟仿真技术模拟出案例发生的真实情境，将虚拟现实与系统仿真结合成一

个有机的整体,让学生在模拟的情境下进行探究和学习,具有低成本、可重复性、可视化、案例丰富、安全等特点[7]。

虚拟仿真实验打破传统教学的时空局限,学生通过虚拟平台,进行互动学习,使得实践场地、设备压力得到缓解,学生学习时间和空间解放,为学生自主学习探索,发挥学习主动性提供条件,为实验室的逐步开放铺垫。这种虚实结合的教学模式不受实训环境限制,再现工程实际案例加工工艺过程,避免不必要成本和污染,降低危险,具有交互性好、真实感强等优点。

为解决虚拟仿真技术缺乏实操感的问题,实验教学内容设计以线切割实体教学为平台,引入虚拟仿真技术,提升学生实训兴趣。既重视传统的实训环节,同时利用虚拟技术的优势,虚实结合、循序渐进实现学生从理论到实训,从实训到虚拟,从基础到复杂工程问题的分层次、分阶段学习,全面综合地锻炼学生实际动手能力、创新设计能力、复杂问题分析研究解决的问题[8][9][10][11]。

3. 线切割实验课程内容

借助实体设备、教学视频、教学工具、虚拟教学软件,课程设置增加了创新性、趣味性、设计性,加深机械类学生的工程实践的广度、深度,提高学生的创新、设计、工程实践能力及素养,更好的激发学生的实践兴趣和实践探索热情。

线切割作为一种数控加工技术,在加工厚度大、结构复杂的零件时,存在加工耗时长、材料耗费大等缺点,虚拟仿真软件的引入可以完全解决这两个教学课堂上需要面对的现实问题。经过初期设备的认知、手工编程、数控编程、薄板工件的设计加工制作,学生对线切割加工技术方法有了初步的了解,当在虚拟仿真中引入一些工程性的复杂案例时,学生便能很好进入这种工程环境中来理解工程实际问题。虚拟仿真技术的应用为机械类学生接触工程性复杂问题提供了一种快捷有效的途径。线切割实验课程教学内容如表1所示。

Table 1. Teaching content of WEDM experiment course

表 1. 线切割实验课程教学内容

学时	教学内容	实验设备或工具
4	设备基础知识 + 手工编程 + 加工	线切割设备、1 mm 厚铝板、2 mm 厚钢板
4	数控编程 + 加工	线切割设备、1 mm 厚铝板、2 mm 厚钢板
4	虚拟仿真案例 + 自主设计	线切割设备、50 mm 厚钢板、虚拟仿真系统

3.1. 线切割手工编程

电火花线切割实践教学对象多为大一学生,学生缺乏专业知识的认识和了解,在教学设计上从简入深,由易至难,能激发学生的实习兴趣。初级阶段联系实际设备进行手工编程练习与实践操作,可对这类加工技术有一个全面清晰的认识,便于更高阶的学习[12]。

手工编程教学采用快走丝线切割数控线切割机最常用的 3B 代码程序格式“BXBYBJGZ”讲解编程方法,主要讲解内容有:设备结构、机床工作原理、坐标和坐标值、计数方向 G、计数长度 J、加工指令 Z 的确定。教学方式上层层递进,通过单个线段到圆弧、简单形状到复杂结构的编程练习,学生熟练掌握编程知识后,以小组为单位进行手工创意编程,并以薄铝板为原材料进行切割加工得到成品。图 1 为手工编程教学框架。加工过程中通过观察电流表指针的偏摆,调整脉冲宽度、脉冲间隔、电流、进给速

度、间隙电压等相关参数，寻求最佳放电间隙，使加工处于最佳状态。并以组为单位，进行创意产品演讲展示，体现了组间的竞争，为学生的创作起到了关键的推动作用。图2为学生手工编程创意作品。

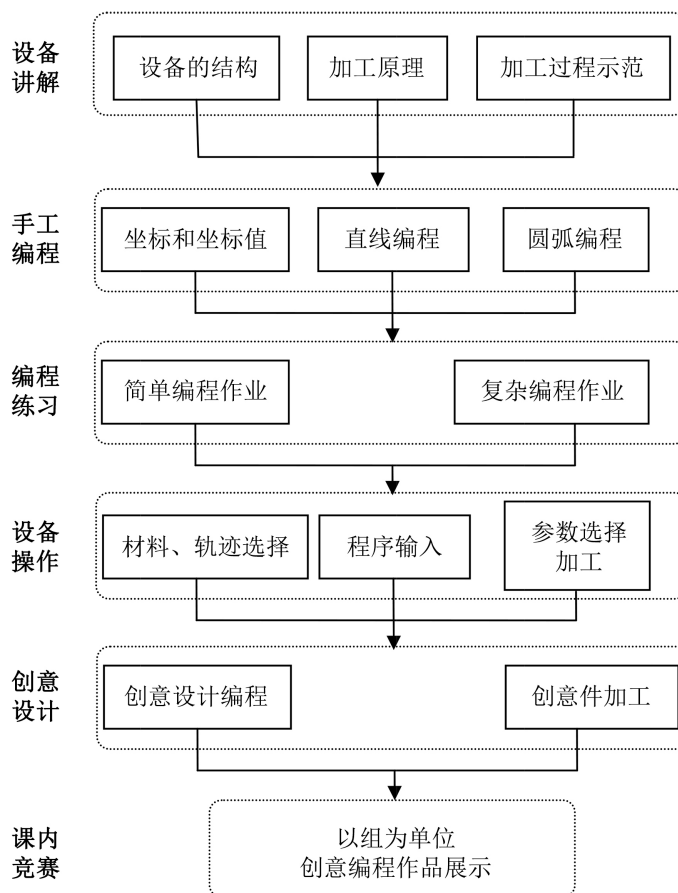


Figure 1. Teaching framework of manual programming
图1. 手工编程教学框架



Figure 2. Students' creative works of manual programming
图2. 学生手工编程创意作品

3.2. 线切割数控编程

在实际工作过程中，许多工件的结构形状复杂，编程计算量较大，计算的精度直接影响到加工精度，手工编程就体现出工作量大、效率低、精确性差的缺点，可利用数控编程软件解决这一问题。在企业生

产加工中,手工编程较少使用,学生通过对编程知识有个完整的认识之后,利用电脑进行数控编程,借助数控编程让学生了解现代企业的生产技术、环境、工作过程。图3为数控编程教学框架。通过人机交互的方式,由学生先绘制出工件的图形,再根据加工工件的要求,选择材料,确定加工起始点、加工路径、加工补偿等问题,通过编程软件自动运算特征点,生成加工程序代码。该层次教学相对于手工编程,以绘图软件为基础,计算简单、绘图方便,以兴趣为引导,注重趣味化,学生编程兴趣浓厚。图4为学生数控编程作品。

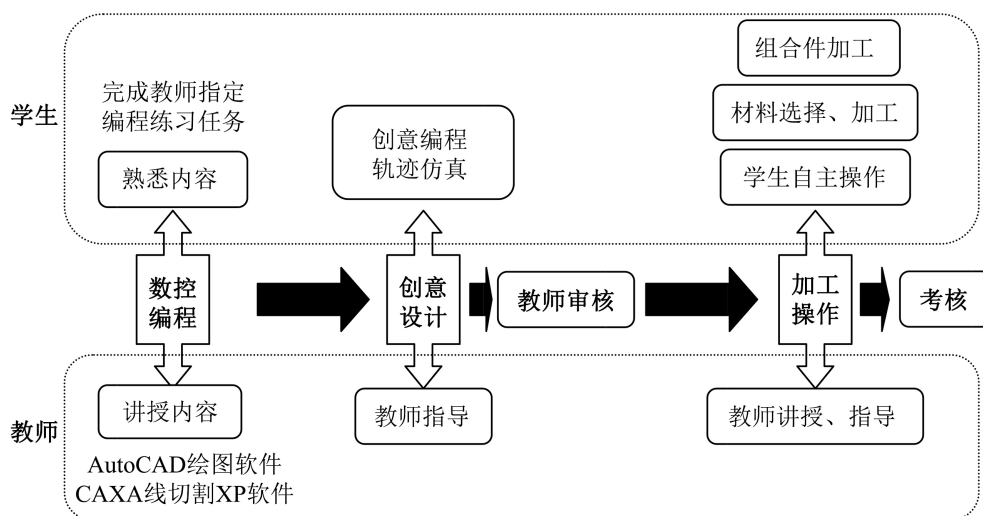


Figure 3. Teaching framework of NC programming

图3. 数控编程教学框架



Figure 4. Student's NC programming works

图4. 学生数控编程作品

3.3. 线切割虚拟仿真教学

在模具和航空航天领域中,有很多传统加工难以解决的难题,特别是在锐角、小尺寸及锥度的产品加工过程中,电火花线切割得到了广泛的应用。由于凹、凸模锥度、异形零件等大厚度零件的加工存在工时较长、材料用量大的问题,且工训设备又难以满足复杂零件加工的条件下,很难将真实的加工过程呈现给学生[13]。为让机械类学生培养能够与实际生产需求结合更加紧密,让线切割加工工艺过程在实践教学中得到真实体现,虚拟仿真教学环节解决了这些空间、设备基础、学时的问题,通过虚拟仿真手段将先进的知识和技术、实际生产中对零件的工艺要求,借助具体案例传递给学生,缩短学生工程实践与实际生产的距离。图5为虚拟仿真教学框架。

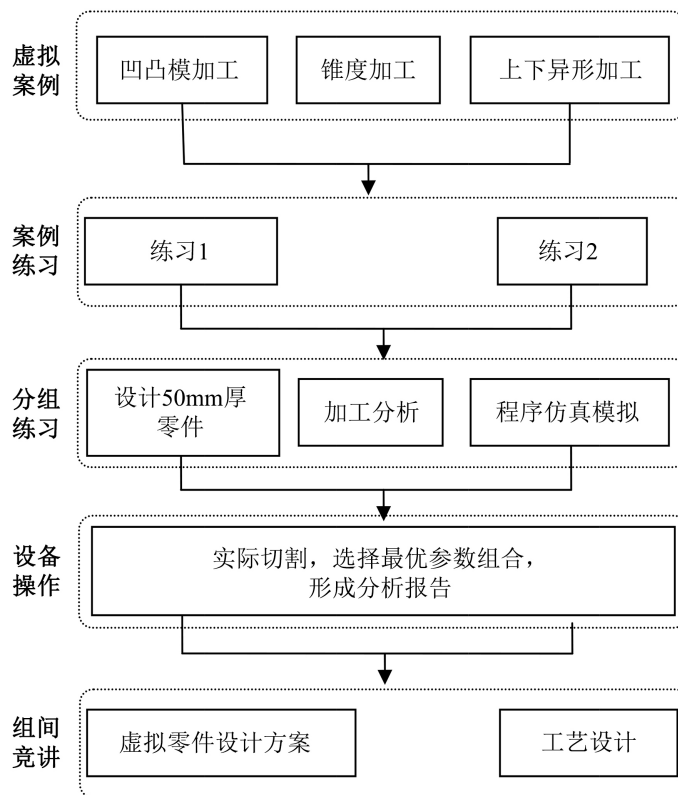


Figure 5. Virtual simulation teaching framework

图 5. 虚拟仿真教学框架

本层次教学以工程案例分析为引，学生以 50 mm 厚的 45# 钢钢板为原材料，自主设计一虚拟仿真产品，产品的加工工序需包含凹凸模加工、锥度加工、上下异形加工、跳步加工等。图 6 为虚拟仿真工程案例。要求学生在设备上以 50 mm 厚的 45# 钢钢板为原材料，观察不同电参数下加工 $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 的长方体横截面的情况，通过组内讨论和组间竞赛的形式，分析讨论大厚度复杂零件线切割过程中短路峰值电流、脉冲宽度、脉冲间隔、开路电压等对加工速度、加工精度、表面粗糙度的影响，并选择出最优参数组合。

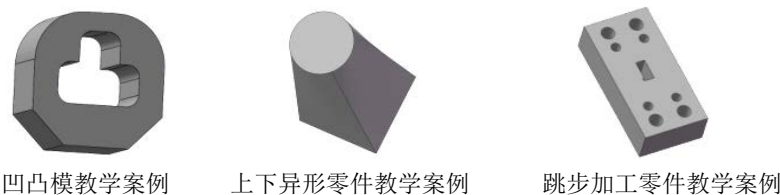


Figure 6. Virtual simulation engineering case

图 6. 虚拟仿真工程案例

3.4. 过程评价

以培养学生创新能力、工程实践能力为目标，结合虚实教学模式，紧密联系教学环节，制定与课程紧扣的教学考核标准。手工、数控编程环节鼓励学生个性化创作，虚拟教学环节注重复杂工程问题解决能力的培养。考核环节主要包括手工编程、加工过程、数控编程、数控编程产品、虚拟零件等的考核，各个环节的考核内容及成绩权重如表 2 所示。

Table 2. Teaching assessment links and contents**表 2.** 教学考核环节及内容

考核环节	成绩权重	考核依据	考核内容
手工编程	20%	编程程序单	编程轨迹、创意性、程序正确性、有无包含直线和圆弧
手工编程零件的加工	10%	零件	材料选择、装夹方式、加工参数的调整、零件的完整性、零件展示环节
数控编程	30%	图纸、程序、零件	图形设计、轨迹仿真、零件配合
虚拟环节	30%	虚拟作品	虚拟加工环节、跳步加工、锥度加工、异形面零件加工、电参数分析
工程素养	10%	实践过程表现	操作规范、工夹量具使用、场地维护

4. 结语

虚实结合的线切割电火花实训课程设计，以基础性的手工、数控编程为导引，运用虚拟仿真案例教学方法直观的为学生展示这一加工技术的全过程。课程内容安排集工程实践和工程实际于一体，由浅入深、通俗易懂，系统地培养了机械类学生在面对复杂工程类问题时发现、分析、解决问题的能力[14]。实践教学中证明，这种教学方式，解决了传统教学模式场地、学时、设备等受限，以及学生实践能力培养层次低的问题，有效地提高了教学效率及效果，提高了学生的动手实践能力和创新能力[15]。

基金项目

重庆市高等教育教学改革研究项目(203229)；重庆大学实验教改项目(2020S05)；重庆大学实验教改项目(2020S03)。

参考文献

- [1] 宋满仓, 张建磊, 张金营, 等. 级进模典型零件的线切割加工方法[J]. 模具工业, 2011, 37(6): 59-62.
- [2] 邓鹏. 钛合金 Ti-6Al-4V 电火花线切割参数试验研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [3] 陈志, 李红丽. 电火花线切割碳钢微观表面质量的影响因素研究[J]. 制造技术与机床, 2018(10): 143-160.
- [4] 杜春平. 线切割实践教学常见问题的处理[J]. 机床与液压, 2014(10): 209-212.
- [5] 莫斌. 谈电火花线切割教学[J]. 现代科技, 2010, 9(5): 92-93.
- [6] 莫斌. 基于工作过程的电火花线切割的教学法[J]. 湖南农机, 2010, 37(9): 209-211.
- [7] 王文举, 张玄, 姜中敏. 基于虚拟仿真技术的案例教学法创新实践教学研究[J]. 教育教学论坛, 2020(35): 322-324.
- [8] 上官林建, 运红丽. 智能制造及虚拟仿真工程训练项目设计与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(8): 211-214.
- [9] 冯元, 海鹏博, 吴宏岐. 虚拟仿真实验室的创新性实验教学改革探索[J]. 发明与创新·职业教育, 2020(8): 76-78.
- [10] 朱力杰, 刘秀英, 于志朋. 虚拟仿真技术在实践教学改革中的应用——以酸奶生产线为例[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(3): 127-130.
- [11] 于向前, 郭艳军, 张媛. 虚拟仿真技术在空间科学实验教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(2): 131-135.
- [12] 孟玲霞, 郑军, 李忠刚. 面向应用创新型人才培养的数控电火花线切割实践教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(11): 119-121.

- [13] 王华侨. 数控线切割锥度加工与编程技术实例应用[J]. 模具制造与技术, 2004(8): 58-59.
- [14] 马树军, 金铁铮. 面向校内生产实习的电火花成型加工技术在线示教系统探索和研究[J]. 中国现代教育装备, 2019(1): 15-17.
- [15] 高洪. 基于虚拟仿真技术的工程训练教学[J]. 计算机仿真, 2020, 37(7): 391-408.