

计算机应用

钣金虚拟仿真实验平台建设与应用

卢广华, 倪雁冰, 范胜波, 李丽琴

(天津大学 机械工程学院, 天津 300350)

摘要: 针对高校工程训练中钣金模块教学存在受客观条件和固定模式制约的问题, 天津大学实践教学中心设计并开放了钣金虚拟仿真实验教学平台, 学生可以在虚拟车间实现钣金类产品加工的单人单机、全程沉浸式体验。实验规划出6模块、2模式的架构, 融合工程识图、工艺路线、安全教育、零件加工、产品制造等于一体, 同时匹配全过程考核评价机制, 通过与线下实操相结合的方式开展基于创意产品设计制作的项目驱动式教学, 虚实结合并以虚促实, 有效培养学生的工程实践能力与创新能力。平台自开放运行以来, 持续应用于钣金实践教学, 并支持多项课题研究工作, 服务国家新工科建设的大局。

关键词: 钣金加工; 工程训练; 实践教学; 虚拟仿真; 虚实结合

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.01.031

中图分类号: G642.423; TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 01-0236-05

Construction and application on virtual simulation experimental platform for sheet metal

Lu Guanghua, Ni Yanbing, Fan Shengbo, Li Liqin

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

Abstract: For the problem that the teaching of sheet metal module in engineering training in universities and colleges was restricted by objective conditions and fixed modes, a virtual simulation experimental teaching platform for sheet metal was designed and launched by the Practice Teaching Center of Tianjin University, and the students could achieve single-person, single-machine and fully immersive experience for the sheet metal product processing in the virtual workshop. Then, the experiment was designed as an architecture with two modes and six modules that integrated engineering drawings, process route, safety education, part processing and product manufacturing, and a full-process assessment and evaluation mechanism was matched at the same time. Furthermore, the project-driven teaching based on creative product design and production was carried out by combining it with offline practice operations, and it combined the virtual with the actual and used the virtual to promote the actual, effectively cultivating the engineering practice ability and innovation ability of students. The results show that since the platform is opened to the public, it has been continuously used in sheet metal practical teaching, supported a number of research projects, and served the overall situation of the new engineering construction of country.

Key words: sheet metal processing; engineering training; practice teaching; virtual simulation; virtual-actual combination

钣金加工主要是针对厚度在6 mm之内的金属薄板, 借助机械设备的作用^[1-2], 经由下料、冲裁、

折弯、焊接、表面处理、装配连接等具体工艺^[3], 制为符合设计要求的产品的过程。钣金件具有重量轻、强度高、成本低、易量产等特点, 在电子电器、汽车工业、医疗器械、航空航天等领域应用广泛。当前, 随着我国制造业体系的日益完善, 钣金行业得到了迅猛发展, 开始走向世界并在全球众多客户中占有相当可观的市场份额, 而持续高质量的发展尚急需大量钣金综合性人才的支撑。

机械工程训练是高校开展工程实践教育的重要课程载体^[4], 为迎接新一轮科技革命的挑战, 势必做出动态调整、应变求变^[5], 与先进技术与产业需求密切衔接, 培养支撑产业转型和升级的高水平应用及创新型人才。因此, 面向中国制造2025

收稿日期: 2023-05-24; 修订日期: 2023-09-02

基金项目: 首批国家一流本科课程虚拟仿真实验教学项目(教高函[2020]8号); 教育部机基/工训教指委工程材料与机械制造基础系列课程/工程训练教学研究重点项目(JJ-GX-JY202114); 教育部2022年第一批产学合作协同育人项目(220501464254928); 天津大学2022年本科教育教学改革研究重点项目(YC202205-01)

作者简介: 卢广华(1988-), 男, 硕士, 工程师

E-mail: luguanghua@tju.edu.cn

通信作者: 倪雁冰(1964-), 男, 博士, 教授

E-mail: niyb@tju.edu.cn

和工业 4.0 时代^[6-7]，将钣金纳入工程训练教学体系是服务国家人才强国及创新驱动发展战略的必要举措。

1 开展钣金虚拟仿真教学的必要性

钣金加工的主要方法是通过数控设备，如数控剪板机、激光切割机、数控折弯机等，对金属板料进行加工制作。在对国内高校工训教学的调研中发现，由于此类设备具有体积大、占地面积多、操作过程危险系数高、价格较昂贵等特点，一般高校只能少量采购，无法满足实践课程理想的人机比。反映在实际教学中则是多以教师现场演示为主，学生参与度低、教学信息量小，学生难以建立对钣金工艺流程的系统性认识，更无从论及实践能力和工程素质的培养。

针对以上问题，现代 3D 仿真技术给出了妥善的解决方案，即通过建立车间、设备及加工过程的数字化环境，达成学生在虚拟环境中做真实训练的目的^[8]。虚拟仿真实验通过科学的设计，能够贯穿钣金安全生产规范，突出教学重难点，实现工训环境与设备的仿真模拟、工艺方案和加工过程的完全映射、产品制作过程的动态体验。学生面向实际加工进行产品仿真制作，不受设备台数、时间、地点等客观条件的制约，且与传统实训相比，更具有高阶性、创新性和挑战度，是值得大力推广的一种新型教学模式^[9]。

2 钣金虚拟仿真实验平台的建设

2.1 实验内容的设计

虚拟仿真实验平台的建设初衷即为学生创设一个具备真实感和临场感的学习场景。基于此，项目团队将天津大学实践教学中心的钣金实训环境全部虚拟式呈现，除主体建筑外，还包括中心真实的钣金加工设备：数控剪板机、数控转塔冲床、激光切割机、数控折弯机、CO₂ 气体保护焊机等，均为现代钣金主流设备。图 1 为实验中的钣金虚拟车间。

具体的实验内容设计是以钣金类产品制作全工艺过程为主线，将工程识图、工艺路线、安全教育、零件加工和产品制造以关联模块的形式呈现，并汇归于考核评价系统。充分考虑到不同层次、不同背景学生的需求，实验采用从易到难、从简到繁、多



图1 钣金加工虚拟车间

Fig. 1 Virtual workshop of sheet metal processing

方位拓展的递进式方法，规划出学习与考核两种模式：学习模式下，学生既能自选模块实现针对性学习，也可以全程亲历产品的制作；考核模式则以游戏通关的方式强制按工艺方案执行，贴近真实的产品生产过程。实验最终建设成包含 6 模块、2 模式的核心体系，图 2 为实验内容的主体框架。

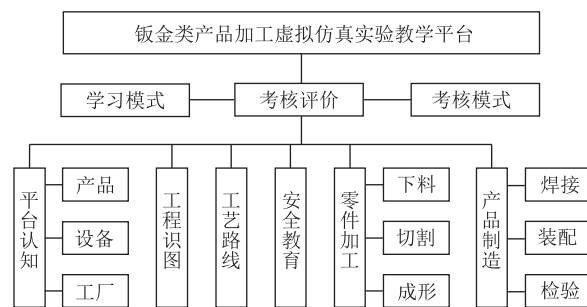


图2 实验主体框架图

Fig. 2 Main frame diagram of experiment

2.2 实验流程的规划

实验选取典型的电气柜作为产品载体，在各种模拟程序、单元模块和学习资料组成的交互环境下，学生通过目标牵引，以工艺为导向，实现沉浸式训练，不断解决实验过程中出现的工程问题，营造良好的自主、探究式学习氛围。实验利用鼠标与键盘配合进行操作，在初始阶段完成产品选定与车间漫游，之后拖动鼠标可以多角度观察产品的整机图与零件分解视图，如图 3 所示。在产品零件分解视图中，根据难度等级选择后续加工的零件。

确定待加工零件后即进入工程识图环节，选取正确的零件加工图纸并搭建合理的加工工艺路线。完成加工准备工作后会安排安全生产规范的学习或考核，继而按已拟定的工艺路线操作设备进行零件加工，包括板材下料、切割、冲裁和折弯等，以焊接装配至出厂检验作为收尾，具体实验流程如图 4

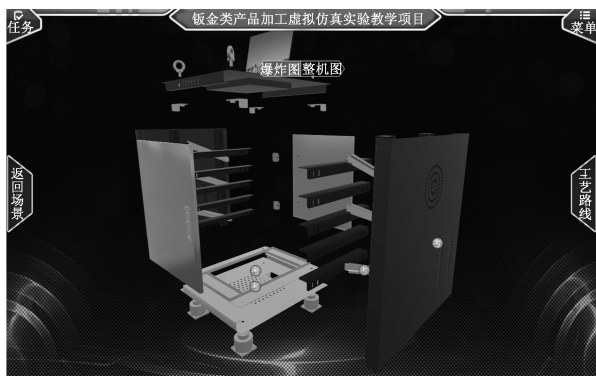


图3 电气柜零件分解视图

Fig. 3 Exploded view of electrical cabinet part

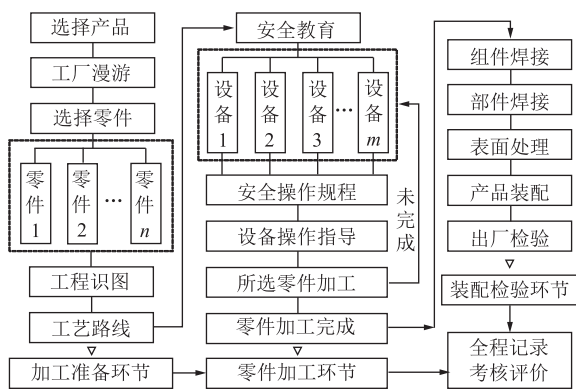


图4 实验流程图

Fig. 4 Experimental flow chart

所示。

上述流程中,若在学习模式下,每一步操作均会给出相关提示语与按键高光指引,学生可以反复多次训练单一模块直至掌握。考核模式下则无直接提示,需要学生根据所学知识独立完成,系统会记录错误操作情况和寻求提示次数,并于后台扣除相应分值。

2.3 考核机制的建立

完备的实验系统均需要匹配科学的考核评价机制以作支撑^[10]。钣金虚拟仿真实验一改以往钣金工训中教师单一、主观的评价模式,而是采取网络系统全程跟踪、全方位记录学生的操作痕迹,特别是关键节点的操作信息,最后给出详细的成绩分析报告,包括理论环节成绩、安全教育成绩与操作环节成绩,结合各环节完成的时间信息,可以反馈学生真实的学习效果,提高评价的公正性和权威性。

以操作环节的考核机制为例,图5为该环节的考核原理图。学生在识图阶段,若选出错误的零件

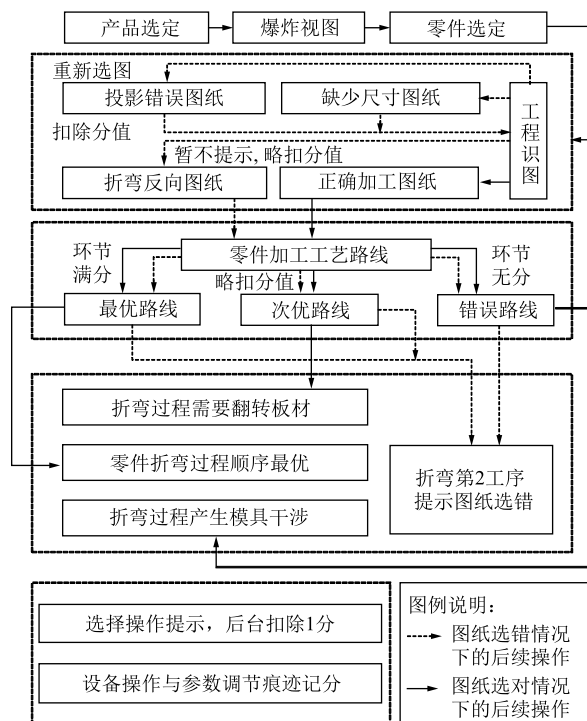


图5 操作环节考核原理图

Fig. 5 Principle diagram of operation link assessment

加工图纸,如缺少关键尺寸标注或出现投影错误情况,系统会直接批示并要求重新选图,后台扣除分值;如果选出折弯方向标注错误的图纸,则会暂时视同正确图纸而进入工艺路线创建环节(后台会记录并扣除分值,折弯阶段给出选图错误的反馈)。

在拟定工艺路线过程中,自主选择剪切、切割、冲裁和折弯等工艺,尤其还要给出零件的折弯顺序。系统会根据折弯顺序的选择评判出最优、次优和错误3种结果。图6为3种顺序选择的对比示意图,图6b为最优折弯顺序;图6a为由于中间阶段涉及多次翻转板料,导致效率降低而被定义为次优;图6c中,则因折弯顺序选择错误而发生零件与模具的干涉。

此外,操作环节的计分还包括各钣金设备的安全操作、焊机电流和气体流量的调节、检验环节正确进行量具读数等等,最大限度还原真实的操作情景。

3 虚实结合开展钣金教学

建设钣金虚拟仿真实验旨在解决客观条件对线下实体工训的限制,其提升教学效果的显著性是有目共睹的。但虚拟仿真毕竟有别于真实生产^[11],难

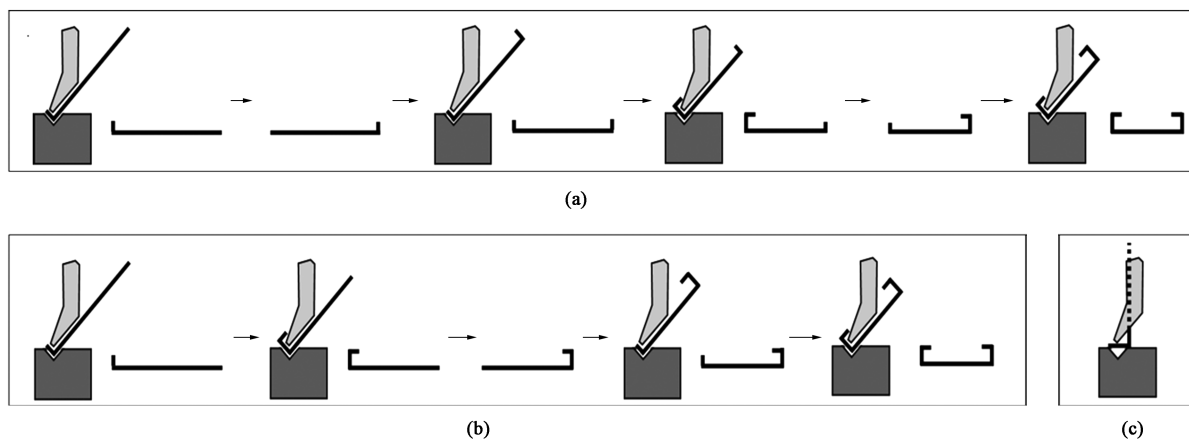


图 6 不同的零件折弯顺序对比示意图

(a) 次优 (b) 最优 (c) 错误

Fig. 6 Comparison schematic diagrams of bending sequence for different parts

(a) Suboptimal (b) Optimal (c) False

以实现对真实世界的完全映射，因此，天津大学机械工程实践教学中心基于现有钣金生产线，结合虚拟仿真实验，柔性构建了虚实结合^[12]的混合式教学平台。

首先，依托国家虚拟仿真平台“智能实验室”开放虚仿实验资源，同时发布线下钣金创意作品设计任务，按照 CDIO（构思 Conceive、设计 Design、实施 Implement、运行 Operate）工程教育理念的项目制形式执行^[13]。学生利用碎片化时间自行完成线上实验的仿真训练，虚拟仿真实验的考核成绩将作为判定其是否获准参加线下真实加工的标准。学生在获得实际车间的准入资格后，需要结合所学来完成创意产品的构思与设计（设计图纸、工艺过程卡片与工序卡片等），并在指导教师的监督下自主操作设备进行作品的加工与呈现，最终撰写成项目执行报告，图 7 为学生手绘的作品方案图和实际加工出的成品。

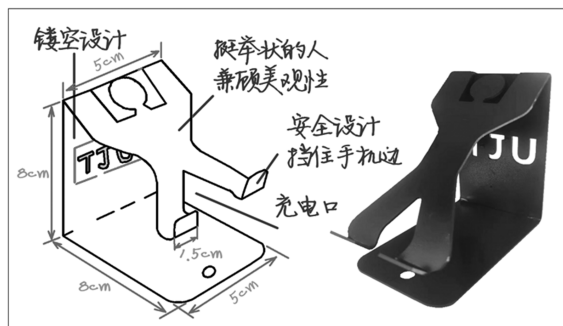


图 7 学生作品案例

Fig. 7 Case of student works

混合式教学新模式开启了智能工训的大门，充分发挥出虚实融合的双场景优势，唤醒学生主动学习的内驱力，在项目制教学运作机制下，学生工程实际应用能力和创新能力的培养也会水到渠成。

4 结语

钣金虚拟仿真实验平台于 2018 年底开始试运行，2019 年获得国家虚拟仿真实验教学项目立项，2020 年被认定为首批国家级一流本科课程，2021 年因课程设计具有突出特色，入选虚拟仿真实验创新联盟年度实验教学应用示范课程。实验平台坚持立足本校、服务天津、辐射全国的宗旨，在 3 年疫情期间实施的大规模在线教学中做出了重要贡献，在 5 年持续建设期间也支撑了很多教学改革课题的研究。截至 2023 年 5 月，实验平台累计浏览量达 105624，实验人次达 11990，今后将继续面向全社会开放共享、不断改进与完善、探索虚实结合的工训教学新模式，服务国家新工科建设，助力钣金高端人才的培养。

参考文献：

- [1] 杨弈, 丁学智. 基于钣金工艺综合模块化机箱结构设计分析 [J]. 流体测量与控制, 2022, 3 (3): 31-33.
Yang Y, Ding X Z. Analysis on the structural design of a comprehensive modular chassis based on sheet metal technology [J]. Fluid Measurement & Control, 2022, 3 (3): 31-33.
- [2] 牛水强, 孙爱芹, 陈安海, 等. 浅谈钣金设计要点及工艺改

进方法 [J]. 科技与创新, 2022, 203 (11): 133-135.

Niu S Q, Sun A Q, Chen A H, et al. Discussion of the design points and process improvement methods of sheet metal [J]. Science and Technology & Innovation, 2022, 203 (11): 133-135.

[3] 杨建强. 材料有效利用率在钣金成本优化中的应用 [J]. 机械制造, 2022, 60 (8): 41-46.

Yang J Q. Application of effective utilization rate of material in cost optimization of sheet metal [J]. Machinery, 2022, 60 (8): 41-46.

[4] 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 (3): 256-259.

Hu M, Zhao Y L, Luan X N, et al. Exploration of engineering training practical teaching model under the background of new engineering [J]. Experimental Technology and Management, 2022, 39 (3): 256-259.

[5] 赵昌葆, 贺平, 高铁军, 等. 模型和实物并重的系统化模具专业综合实验研究 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37 (11): 15-19.

Zhao C B, He P, Gao T J, et al. Research on systematic comprehensive experiment of mould specialty with equal emphasis on model and physical object [J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37 (11): 15-19.

[6] 孙启, 黄松涛, 杨丽梅, 等. 工业废酸中硫酸的萃取分离与回收研究现状 [J]. 稀有金属, 2022, 46 (5): 652-664.

Sun Q, Huang S T, Yang L M, et al. Separation and recovery of sulfuric acid from industrial spent acid by solvent extraction: A review [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2022, 46 (5): 652-664.

[7] 杨文阳, 徐可欣. 工业 4.0 背景下高校沉浸式虚拟学习环境设计与应用研究 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42 (1): 243-246, 291.

Yang W Y, Xu K X. Research on the design and application of immersive virtual learning environment in universities under the background of industry 4.0 [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2023, 42 (1): 243-246, 291.

[8] 熊宏齐. 基于虚拟仿真的线上线下融合专业实验教学体系构建 [J]. 实验技术与管理, 2022, 39 (3): 5-10.

Xiong H Q. Construction of online-merge-offline specialized experiment teaching system based on virtual simulation [J]. Experimental Technology and Management, 2022, 39 (3): 5-10.

[9] 刘习军, 张素侠, 崔福将, 等. 虚拟仿真实验在教学中的应用 [J]. 高教学刊, 2019, (26): 115-117.

Liu X J, Zhang S X, Cui F J, et al. Application of virtual simulation experiments in teaching [J]. Journal of Higher Education, 2019, (26): 115-117.

[10] 卢广华, 范胜波, 朱振云, 等. CDIO 模式下铸造实践教学的改革与优化 [J]. 铸造技术, 2023, 44 (4): 392-394.

Lu G H, Fan S B, Zhu Z Y, et al. Improvement and optimization of casting practice teaching under CDIO mode [J]. Foundry Technology, 2023, 44 (4): 392-394.

[11] 梁军, 梁福沛. “虚实结合, 能虚不实, 能实不虚” 的化学工程与工艺实践教学改革与实践 [J]. 高教论坛, 2016, (8): 15-17.

Liang J, Liang F P. Teaching reform and practice of the combination of form and content of chemical engineering and technology [J]. Higher Education Forum, 2016, (8): 15-17.

[12] 杨立娟, 李晶, 郭艳婕, 等. 虚实结合的智能制造实验教学平台建设与实践 [J]. 实验室科学, 2023, 26 (1): 90-95.

Yang L J, Li J, Guo Y J, et al. Construction and practice of intelligent manufacturing experimental teaching platform combining virtuality and reality [J]. Laboratory Science, 2023, 26 (1): 90-95.

[13] 罗红旗. 机械工程专业课程虚实结合实践教学途径分析 [J]. 中国现代教育装备, 2022, 395 (19): 112-114.

Luo H Q. Analysis on the practical teaching approach of the combination of virtual and real in the course of mechanical engineering [J]. China Modern Educational Equipment, 2022, 395 (19): 112-114.

中国机械工业联合会团体标准《绿色设计产品评价技术规范 钢质模锻件》发布信息

根据中国机械工业联合会于 2023 年 12 月 18 日发布的“2023 年第 5 号”公告, 由全国锻压标准化技术委员会组织制定的团体标准《绿色设计产品评价技术规范 钢质模锻件》正式发布, 相关信息见表 1。

表 1 《绿色设计产品评价技术规范 钢质模锻件》团体标准发布信息

序号	标准号	标准名称	发布日期	实施日期
1	T/CMIF 235-2023	绿色设计产品评价技术规范 钢质模锻件	2023-12-18	2024-02-01

欲购买标准文本者, 可与全国锻压标准化技术委员会秘书处联系。

通信地址: 北京市海淀区学清路 18 号全国锻压标准化技术委员会秘书处 邮 编: 100083

电话: 010-62920652、010-82415085 E-mail: duanya2005@ 126.com 联系人: 魏 巍

全国锻压标准化技术委员会