



基于逆向工程的创新设计与制造综合实验教学

胡双喜^{1,2}, 李 芳^{1*}

(1. 武汉工程大学 机电工程学院, 武汉 430073; 2. 湖北开放大学 机电工程学院, 武汉 430074)

摘要: 对机械类专业设计并开展了产品创新设计与制造综合实验教学。该实验以项目为依托, 集合逆向工程领域的 5 大任务: 数据采集与处理、逆向重建、创新设计、加工、检测。实验具备综合性、先进性、创新性、可拓展性, 可以作为毕业综合实践项目, 也可作为学生开展第二课堂的开放性实验。经实际教学验证, 该实验不仅巩固了学生对逆向工程的基本理论和流程的理解, 还增强了学生的动手实践能力和创新思维能力, 更提升了学生设计和制造的综合应用能力。

关键词: 创新设计; 制造; 逆向工程; 综合实验

中图分类号: TP391; G642.0

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20210438](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20210438)

Comprehensive Experimental Teaching of Innovative Design and Manufacturing Based on Reverse Engineering

HU Shuangxi^{1,2}, LI Fang^{1*}

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Hubei Open University, Wuhan 430074, China)

Abstract: The comprehensive experiment about product innovative design and manufacturing is designed and carried out for the mechanical specialty. Based on projects, the experiment integrates five tasks in the field of reverse engineering: data acquisition and processing, reverse reconstruction, innovative design and manufacture, detection. The experiment is comprehensive, advanced, innovative and expandable, and it can be used as a comprehensive practice project for graduation, or as an open experiment for students to conduct the second classroom. Verified by practical teaching, the experiment can not only consolidate students' understanding of the basic theory and process of reverse engineering, enhance students' practical ability and innovative thinking ability, but also improve students' comprehensive application ability of design and manufacturing.

Key words: innovative design; manufacture; reverse engineering; comprehensive experiment

近年来,随着我国产业转型升级和经济结构调整的不断加快,集合三维数据测量、三维模型重建、3D 打印技术、数控加工等多种先进技术为一体的逆向工程领域是数字化设计和智能制造的热门方向^[1-3],在相关产业领域中得到了广泛的应用^[4]。利用逆向工程能够以较低的成本与更高的效率制造出原型产品,从而有力地支持新产品的创新设计和快速开发,且已经成为新产品快速开发过程中的核心技术之一^[5]。

在机械设计制造类专业开展逆向工程综合实验教学,将三维检测、逆向设计与创新设计、3D 打印与数控加工技术以项目的方式组织在一起,有助于学生学习先进技术,提升学习兴趣、培养实践能力,满足社会对精通多种高新技术的复合技术型人才的需求。

在应用型本科和高职的人才培养方案中,机械类的相关专业中均开设如计算机辅助设计、计算机辅助制造、三维检测和 3D 打印、数控技术等

收稿日期: 2021-09-29; 修回日期: 2021-10-17

基金项目: 湖北省高校省级教学改革研究项目(2017602); 湖北省职业技术教育学会重点课题(ZJGA202103)。

作者简介: 胡双喜(1979-), 女, 博士, 副教授, 主要从事机械设计、逆向设计、CAD/CAM 方面的研究。

* 通信作者: 李芳(1982-), 女, 博士, 教授, 主要从事非线性光学和超快纳米光子学方面的研究。E-mail:

lifang@wit.edu.cn

与之相关的课程,每个课程相对独立,学生只是掌握了基本的能力,没有融会贯通的综合应用能力。通过实施这一综合项目,将各专业核心课程之间有机地衔接起来,融合设计与制造,依照工业产品开发流程^[6]和任务展开教学。这样既巩固了学生对逆向工程的基本理论和流程的掌握,解决学生设计与制造脱节的问题,又能提高学生综合实践能力和创新设计能力^[7]。

1 产品创新设计与制造综合实验设计

该实验基本依照逆向设计和产品快速开发任务开展,如图1所示,分为:数据采集与处理、逆向重建、创新设计、制造、检测分析等几个主要工作步骤。

首先采用三维扫描仪获取产品的外形数据,并对数据进行处理;然后使用重建软件对处理后的数据进行三维模型重建并评估重建质量;再按照设计需求对产品进行创新设计;最后完成创新产品试制、检测、装配。在制造、检测和装配阶段,如发现设计问题,及时返回修改。

实验内容以项目为依托,从企业案例和大赛项目中已开发了“连杆的逆向重建与加工”“剃须刀的逆向建模与创新设计制作”和“眼镜盒的逆向设计与创新制作”等10多个项目,可供学生选择,也可由学生自定项目。不同的专业可以选择和专业相关的设计任务:机械设计专业可以选择“连杆的逆向重建与加工”,将机械原理和机

械设计、结构设计融合该项目中;模具设计专业选择“眼镜盒的设计和加工”等项目,添加塑料件设计、模具设计到项目任务中。

在制造环节,根据项目设计的任务要求,可以有3种组合模式:设计+数控加工,设计+3D打印,设计+数控加工+3D打印。

实验项目既可以作为毕业综合实践项目,也可作为学生开展第二课堂的开放性实验。

2 创新设计与制造综合实验教学实施

以“剃须刀的设计与加工”作为实例,说明该实验教学具体内容。

2.1 采集数据和数据处理

在实验中,首先采集零件的数据点云。采集数据的方法有三坐标、照相式扫描和手持激光扫描仪。对剃须刀这类小型产品而言,可采用双目蓝光扫描仪进行数据采集,如图2所示。选定设备后,分析产品的结构特征,制定合理的扫描策略:零件表面是否喷粉、标志点粘贴位置、数据拼接是扫描时拼接还是分两次扫描后通过软件(Geomagic Wrap)手动拼接,这些都是在实训中必须了解并掌握的关键点,尤其是通过操作理解扫描拼接的基本原理,并通过原理来指导实际操作。在此案例中,通过扫描光学原理可知,剃须刀为黑色,吸光,需要喷涂白粉显像剂;标志点贴于剃须刀平坦面,不少于3个点,如图3所示,用于正反两面拼接过渡;借助转盘采集数据,转盘两面随机贴点,用于正反两面扫描。

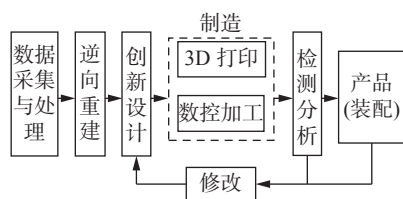


图1 实验项目任务流程图



图2 照相式扫描



图3 标志点粘贴

扫描得到的点云数据需要通过 Geomagic Wrap 软件经点阶段的处理和三角面片的处理两个环节:在点阶段,首先手动删除杂点,使用非连接项、体外孤点命令删掉多余点;使用统一采样命令去除多次扫描重叠的点云,封装成三角面片;在三角面片阶段,填补孔洞把数据补全,去除优化质量差的局部数据。最后导出 STL 格式的数据,用于模型重建。

2.2 模型重建

将 2.1 节得到的 STL 格式数据导入 DesignX 中完成模型重建。由于后续要进行创新设计和编程加工,因此需参数化重建,重建流程如图4所示。导入后需先进行领域划分,这样有利于将划分的面分块进行曲面建模。剃须刀数据分割领域如图5(a)所示。为了方便后续建模和加工,使用对齐功能将模型某些特征对齐到坐标系,由于剃

须刀由复杂曲面构成且是对称模型,将模型对称中心面和模型自有的平面特征与坐标系中的基准面对齐。

重建过程中曲面分为规则和非规则曲面特征。规则特征包括拉伸体、回转体、扫掠体等,利用拉伸、回转、扫掠功能生成^[8]。非规则的曲面特征则用曲线放样、面片拟合等功能完成。然后将各个面片之间通过修剪、面添补、放样等功能成为封闭的模型。最后缝合各曲面成为实体。如图 5(b)所示,剃须刀用曲面拟合、放样完成刀身曲面建模,刀头部分则为规则拉伸体并倒圆角来实现。当所有分块曲面完成后,缝合所有曲面得到如图 5(c)模型。使用 DesignX 进行逆向建模要考虑曲面的光顺度和点云的精度问题,建模中尽量还原原始设计意图^[9]。

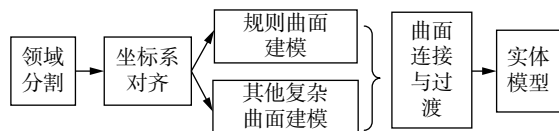


图 4 基于 DesignX 的逆向建模流程

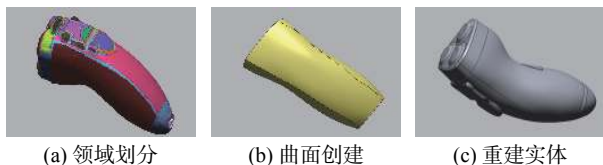


图 5 DesignX 逆向重建模型

2.3 创新设计

逆向重建的后续任务就是创新设计,对于不同的项目创新设计设置不同的要求,有改造原产品外观,满足人机工程学和美学要求;或重新设计内部结构达到某些功能上的要求、优化原有结构;或重新设计出与之相关配合的零件。

本项目中是将剃须刀的外观做改造设计,并为剃须刀设计出安装底座。创新设计可用 DesignX 完成,也可以采取其他正向软件完成。实验中因后续加工的方便选择 UG NX,因此需要注意不同软件之间的数据格式转换,将重建模型在 DesignX 中以 STP 格式导出实体或者数据交换功能在 UG 中打开进行设计。

在该创新设计环节,依照创新设计过程,分为设计需求分析—资料调研—创新点概念设计—创新设计建模实现 4 个步骤完成。学生们充分发挥自己的创新思维,得到多种不同的设计效果,学生的部分创新设计结果图如图 6 所示。

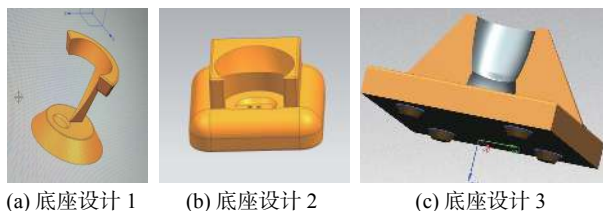


图 6 学生的部分创新设计图

2.4 产品加工

设计模型可采用两种方式加工:3D(FDM)打印和数控加工(CNC),如图 7 所示流程。实验中按照设计需求来加工制作。

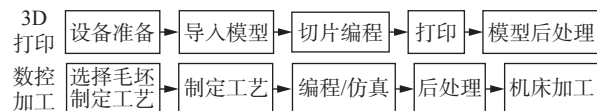


图 7 两种加工方法与流程

1) 3D 打印

将 STL 格式的创新件导入切片软件进行切片编程,然后利用 FDM 打印机和 ABS 树脂打印创新件,完成后剥离支撑,打磨处理产品模型并装配。

2) 数控加工

使用 UG 的 CAM 模块对三维创新件实体进行编程生成刀路,对程序进行仿真验证,通过后处理将程序生成机床识别的代码。最后将程序输入加工中心,学生在老师的辅助下完成零件加工。所有零件加工后,将底座和剃须刀进行试装配,学生加工作品如图 8 所示。



图 8 学生的部分作品

在 CNC 加工中学生常发现设计上的不合理,不利于加工,如设计的孔为倒扣型结构无法完成数控加工,需重新修改原设计,或者更换加工方法。在设计中需考虑加工的工艺性、可行性,从而锻炼了学生基于制造方法的设计思维。

2.5 精度检测

ControlX 是一种自动化检测软件,可以快速将扫描的产品三维数据,与标准三维数据比得到检测结果,并对产品质量进行评定。该软件在企业中使用广泛^[10-11]。检测流程如图 9 所示,在 ControlX 软件中先导入重建后的 STP 格式的实体模型替代标准数据设置为参考模型,导入扫描的加工件点云(处理后为 STL 格式)为检测文件。然

后利用对齐命令使二者高精度的重合一起,再进行检测分析:通过“3D比较”得到标准数据和测试数据之间的三维偏差显示图和数据;通过“2D比较”得到某截面的二维偏差和数据,如图10所示。还可以测量尺寸数据或者其他项目的检测,并按照检测的内容生成报告。

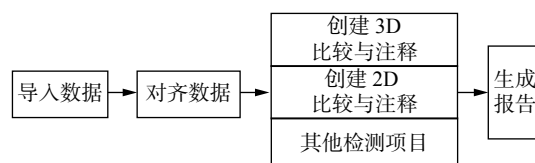


图9 精度检测流程

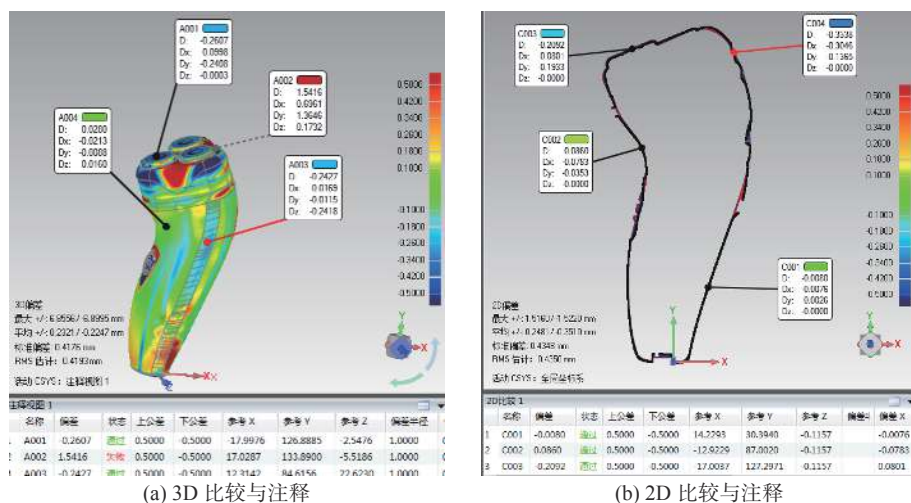


图10 检测结果图

3 教学效果

作为专业社团的第二课堂活动,吸引了较多学生的学习兴趣。2018年和2019年学生完成该项目的作品参加全国三维数字化创新大赛获得特等奖、一等奖等多个奖项。2019年作为大三学生的毕业综合实训项目,巩固了机械类学生的综合实践能力,为毕业就业打下良好的基础;并且在2019年湖北省“工业产品数字化设计与制造”赛项的比赛中获得了二等奖和三等奖的好成绩。

4 结束语

本实验使用了多个软件协同完成整个项目任务,是一个具备综合性、先进性、创新性、可拓展性的实训项目。

1) 设计和制造流程融合一体,体现了产品快速设计与制造的真实流程,与企业产品开发过程相符,既提高了学生各单项技能方面的应用,又提高了学生的设计和制造的综合能力。

2) 该综合实训项目根据工业产品的不同可无限拓展和更新,学生可以选择自己感兴趣的或者其他具有实际意义的项目对象,有更大的灵活性、创新性和拓展性。

3) 该综合实训项目,深化了学生先进制造技术的理念,吸引了学生的兴趣,培养了创新思维

和动手实践能力。

参考文献

- [1] 黄诚驹. 面向数字化设计与制造创新人才培养的教学改革设计[J]. 武汉职业技术学院学报, 2014(2): 63-66.
- [2] 张晨亮, 潘俊兵. 复杂曲面的逆向构造及五轴数控加工试验[J]. 机械研究与应用, 2019, 32(4): 167-169.
- [3] 袁晓东. 基于逆向工程与3D打印技术的产品创新设计研究[J]. 机械设计, 2015, 32(10): 105-108.
- [4] 陈雪芳, 孙春华. 逆向工程与快速成型技术应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009(9): 2-4.
- [5] 刘亚丽, 张俊. 基于逆向工程的以能力培养为中心的实验教学体系构建[J]. 轻工科技, 2018, 34(1): 167-169.
- [6] 成思源, 张中宝, 杨雪荣, 等. 面向产品创新设计的逆向工程技术实验教学[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(4): 161-164.
- [7] 夏红梅, 甄文斌, 王红军, 等. 基于企业产品开发过程的“机械CAD/CAE/CAM综合训练”方法研究[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(9): 183-186.
- [8] 胡双喜, 钟鼎. 复杂模型的快速参数化逆向建模研究[J]. 机械设计, 2015, 32(4): 91-95.
- [9] 邱伟华. 模具类高职技能竞赛反思[J]. 模具工业, 2016, 42(4): 73-76.
- [10] 周正祥. 奇瑞汽车基于Geomagic Control 软件的碰撞试验分析[EB/OL]. [2021-08-29]. http://www.3dsystems-china.com/resources/article_detail.aspx?id=12:2019.12.29.
- [11] 翁剑成, 史文杰. 烟灰缸逆向建模及检测技术研究[J]. 现代制造工程, 2017(12): 71-77.

编辑 张俊