

基于逆向反求的《机器 3D 测绘》 实践训练方法研究

夏红梅, 甄文斌

(华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642)

摘 要: 开展《机器 3D 测绘》实践训练有助于巩固零部件测量和绘制技能, 提高学生分析与设计表达能力, 增强学生工程应用能力。引入逆向工程测量技术, 提出测绘实践训练目标、实施流程和具体要求。明确测绘对象选取原则, 选定测量工具, 制定零件三维特征建模和逆向重构方法。提出组长负责制的训练计划, 组间互评、小组自评与教师评定结合的综合评价方法, 制定详细评分标准和策略。应用实践表明, 该训练方法提升了学生综合运用现代设计技术方法的能力, 增强了工程素质, 提高了就业能力。

关 键 词: 机器 3D 测绘; 逆向工程; 实践教学方法

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2018051004

文献标识码: A

文 章 编 号: 2095-302X(2018)05-1004-05

Practice Training Method Study of Machine 3D Surveying and Mapping Based on Reverse Engineering

XIA Hongmei, ZHEN Wenbin

(College of Engineering, South China Agriculture University, Guangzhou Guangdong 510642, China)

Abstract: Carrying out machine 3D surveying and mapping practice training can help consolidate parts measuring and drawing skills, improve students' ability to analyze and design expression, and enhance students' ability of engineering practice. By introducing reverse engineering measurement technology, the objective of surveying and mapping practice, implementation process and the specific requirements were put forward. The principle of selecting surveying and mapping objects was put forward, measuring tools were selected, and 3D feature modeling and reverse reconstruction method were determined. The team leader's responsibility system was planned. The comprehensive evaluation strategy of the group evaluation, the group self-assessment and the teacher's evaluation was established. The detailed scoring criteria for group evaluation and teacher evaluation were formulated. The application of the practice training method shows that it is an effective way to enhance the students' ability of utilizing modern design techniques and methods as well as their employability.

Keywords: machine 3D mapping; reverse engineering; practice teaching method

为进一步巩固工程测绘理论知识, 熟悉机械设计与制图标准, 加强现代计算机辅助设计技术实践应用, 培养具有较强实践能力的工程应用型

人才, 华南农业大学工程学院自 2012 年起面向机械类或近机类专业学生, 在第 6 学期开设了为期一周的《机器 3D 测绘》综合实践训练课程。前期

收稿日期: 2017-08-11; 定稿日期: 2017-11-19

基金项目: 华南农业大学教改项目(JG16063)

第一作者: 夏红梅(1975-), 女, 江苏兴化人, 副教授, 博士。主要研究方向为现代机械设计理论与方法。E-mail: xhm_scau@scau.edu.cn

《机器3D测绘》实践训练以减速器、齿轮泵、注塑和冲压等模具产品模型为对象,采用手工拆装、测绘和3D数字化建模方法,实现实物模型的三维模型重建。教学实践表明,以典型机械产品模型为测绘对象,模型的形态特征均为规则的平面、圆柱面或圆锥面等,与生产实践中的实际产品尚有一定差距,难以激发学生兴趣。通过手工测量和绘制,可提高学生测绘简单零件的能力,但实际产品外形多具有不规则曲面轮廓,借助传统的拓印、摄像等方法仅能获取有限二维最大轮廓极限数据,信息不完善,难以准确再现三维非规则的自由曲面形状^[1-3]。

近年来,基于逆向工程技术的实物三维表面数字化测量及模型重构技术在快速和高质量地揭示物体表面形态和结构特征、实现定量分析方面已取得良好效果。逆向工程测量方法通过测量设备获取实物表面离散点云坐标数据,经点云数据处理、曲线和曲面的重构,获得复杂实物的三维数字化几何模型^[4-7]。在《机器3D测绘》实践训练中引入逆向工程测量方法,面向具有复杂外形特征的实际产品开展测绘,有助于培养学生应用现代测绘技术手段解决实际问题的能力,提升学生的综合设计水平^[8]。

1 训练目标与要求

《机器3D测绘》综合实践训练要求完成产品零部件的测量和绘制两部分工作。通过对非标准零件的测量训练,使学生掌握简单形体和复杂曲面的测量方法,熟练测量工具的使用,熟悉测量流程,具备独立开展测量的能力。通过零部件绘制训练,使学生能熟练应用三维设计软件进行实体建模、装配和渲染等工作。通过训练中对标准件、通用件、零件公差配合等标准的查询,制图规范标准的应用,进一步提高学生专业设计知识综合应用能力及测绘技能,培养严谨、踏实的工作态度。具体训练要求包括:

(1) 实施测量绘制前,应充分了解测绘产品对象的性能特点和功能原理,通过对测绘产品的拆解和装配,对测绘零部件结构进行详细分析,明确各零部件的功能和连接配合关系,制定零部件的拆装顺序方案。

(2) 在测量过程中,对非标准零件,应依据零件外形特征合理选取测量方法,正确选取和应用测量工具,依据加工和拆装原理,确定测量基准,采集获取足够尺寸信息;对标准件,应根据设计

手册查询结果,确定其型号和尺寸规格。

(3) 在三维建模过程中,结合CAD基础课程,选用生产实践中常用的三维建模软件和逆向反求重构软件;合理进行零件特征分析或三维点云数据处理,保证建模效率和质量;应充分利用现有机械设计软件中的标准零件图库功能构建标准件模型;合理选取三维渲染软件,依据产品材质和应用特点呈现出产品实际应用效果。

(4) 训练提交材料包括:手工测绘草图、零件三维重构图档、零部件特征三维建模图档、产品三维效果图档及测绘训练总结。

2 材料与方法

2.1 测绘对象

以实际产品为测绘对象,相比模型在功能原理与结构上更具有真实性和直观性,能更好地激发学生的感性认识和兴趣。为充分利用逆向工程测量方法,测量对象外形应包含不规则的曲面特征,且尺寸不宜过大。考虑实训时间仅一周,产品零件数不宜过多,结构不宜太复杂。结合现有实际条件,要求学生选取生活中非常熟悉和常用的小家电类产品,如台灯、风扇、水壶、订书机等作为测绘对象。

2.2 测量工具

手工拆装和测量可利用实验室现有起子、活扳手、呆扳手、榔头、内外卡钳、游标卡尺、钢尺等工具实施。对具有非规则曲面外形的零件测量,根据测量探头是否与实物表面接触,采集实物外形点云数据有接触式和非接触式两种。基于光学原理的非接触式数据采集方法具有速度快,易获取的自由曲面数据点多,无需进行测头半径补偿以及不损伤物体表面等优点,更适于应用在测绘实践中^[9]。

综合考虑反求测量对象尺寸、测量精度、灵活性及性价比等因素,选取非接触式的Sense 3D激光扫描仪。其外形尺寸为178 mm×129 mm×33 mm,三维方向扫描尺寸范围为0.2~3.0 m,分辨率为0.4 mm,图像大小为240×320像素,图像吞吐量为30帧,具有扫描外形尺寸小、扫描范围广、扫描速度快、操作简单、成像显著等优点。

2.3 建模方法

对规则外形零件,依据手工测量获取的零件二维特征尺寸进行由点到线、由线到面、由面到体的三维特征建模。华南农业大学工程学院前期已对Solidworks、Pro/E、UG等3种常用软件开设了建模课程,要求学生从3种软件中自由选取一种

学习。由于学生熟练掌握的软件不一致,因此对于三维建模软件的选取不做强制性要求,学生可以依据自身特点自定。

对需要进行逆向反求的非规则外形零件,在扫描生成的图像中可能存在大量杂质或带有辅助支撑等特征信息,可先利用 Sense 3D 扫描仪自带的编辑工具软件进行自动滤除杂质,分割图像,使其仅保留与研究相关的实物本体,剪裁由于去除模型扫描干扰产生的棱角,填充分割模型产生的孔洞等点云数据预处理。

点云数据预处理后,还需进行点云数据精简处理、多边形光滑修复及曲面边界调整等操作,通过点阶段、多边形阶段和形状阶段的数据处理,获得拟合的理想曲线曲面的非均匀有理 B 样条(non-uniform rational b-splines, NURBS) 曲面模型。Geomagic 公司的 Geomagic Studio 是当前市场上具有代表性的逆向工程设计软件之一,能对点云进行很好的拼接和精简,支持多种测量设备文件格式读取和转换、海量点云数据的预处理、智能化 NURBS 曲面构建等^[10-11]。为此,选取 Geomagic Studio 软件进行点云数据的处理、多边形的平滑修复和曲面拟合重建。基于 Geomagic Studio 的实物 3D 重构过程如图 1 所示。

3 实施与评价方法

3.1 实施计划

测绘训练先由教师进行任务指导性讲解,然后采用分组实施、各组长组织管理方式开展。这样更有助于在提高学生测绘能力的同时,培养学生的团队合作精神。学生自由组合,每组不超过 5 人,自主推选组长。教师依据学生的学习成绩、独立工作能力和组织能力等对小组成员进行综合平衡,以保证组内成员互相交流、互相学习、取长补短,使测绘工作更加均衡。组长负责测绘训

练任务的分工与进度管理以及测绘产品、测量工具、测绘资料的保管等工作。同时,负责对组员绘制成果的组内评价。组长应督促组员开展测绘工作,遵守工作纪律,保持实验室场地整洁。

测绘训练在华南农业大学工程学院机械设计基础实验室和机械 CAD/CAM 实验室实施。依据测绘训练目标与要求,具体测绘实施计划见表 1。全部测绘实践训练工作需在指导教师基于实例进行指导性讲解和操作示范,布置训练任务,并提出具体训练目标和要求后,方可依据实施计划逐步开展。

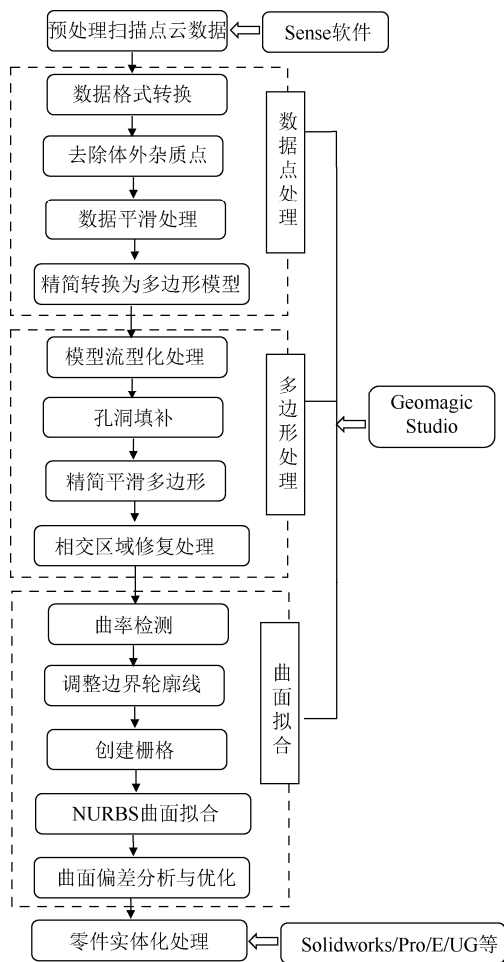


图 1 实物 3D 重构工作流程

表 1 实施计划安排

训练任务	进度(天)	实施主体	实施地点
训练任务指导性讲课	0.5	指导教师	机械设计基础实验室
产品拆解, 绘制装配示意图, 分工	0.5	小组	机械设计基础实验室
规则零件特征尺寸测量, 零件草图绘制	0.5	学生	机械设计基础实验室
规则零件 3D 建模	0.5	学生	机械 CAD/CAM 实验室
标准件查询, 模型调用	0.5	学生	机械 CAD/CAM 实验室
非规则零件三维扫描与重构	1.0	学生	机械 CAD/CAM 实验室
零件装配, 产品造型渲染	0.5	小组	机械 CAD/CAM 实验室
测绘训练总结	0.5	小组	机械 CAD/CAM 实验室
测绘成果汇报	0.5	小组	机械 CAD/CAM 实验室

3.2 实施流程

测绘训练包括产品零部件关系解析、测量与绘制、总结与汇报等环节,具体流程如图2所示。小组首先通过内部讨论并征求指导教师意见后,选定测绘产品;对产品工作原理进行分析,讨论制定拆解方案,实施逐步拆解,并确定零部件间的连接配合关系;分析拆解零件的功能与外形特征,将零件按标准件、规则零件和非规则零件分类。然后组长依据测绘工作量均衡的原则,将零件测绘工作分配给小组成员;各组员对规则零件选取人工测绘方法,非规则零件采用逆向反求测绘方法,对标准件采用查询调用方法,开展测量与绘制工作,构建出零件的三维模型。再由小组共同分析制定零部件装配顺序方案,完成总体装配,构建出产品的三维模型;对产品三维模型添加颜色、材质、背景、光源等信息,进行造型渲染,获得产品的三维效果图形。最后小组输出零件三维重构图档(STEP 格式)、产品三维模型图档(STEP 格式)和产品三维效果图档(JPG 格式);由组长组织开展测绘工作总结,并制作测绘训练成果汇报讲稿,参与汇报展示与答辩。

3.3 评价方法

为促进小组间的相互学习与交流,测绘训练成果采用组间互评、教师评定与小组自评的综合评价方法。通过开展测绘成果公开汇报,进行组间互评和教师评定,采用百分制集体评分法确定答辩小组成绩;再依据小组自评结果确定小组成员成绩。小组汇报内容包括产品拆装展示、测量分析与过程介绍、零件三维建模过程解析、产品装配过程与渲染效果展示等,由小组成员共同完成。汇报完成后,回答教师和其他组成员的提问。最后由其余各组及教师依据汇报展示情况和小组提交的材料质量,按照表2的评分标准从测绘工作难易程度、草图质量、三维建模质量、产品渲染效果及测绘总结等角度,采用打分方法进行评判,分别评定出各答辩小组测绘成绩。

计算其余各组对汇报小组评定成绩的平均分,作为组间评定成绩。取组间评定加权系数0.5,教师评定加权系数0.5,计算出该汇报小组的总加权平均成绩。为体现组内学生间的成果差异,由各组长组织小组成员对每位组员(包括组长)依据工作量、工作态度及成果贡献,按优、良、中、合格、差5个等级评定,各等级取成绩系数分别

为1.0、0.9、0.8、0.7、0.6。组内每个学生的最终成绩由小组的总加权平均成绩乘以组内评价等级系数得到。

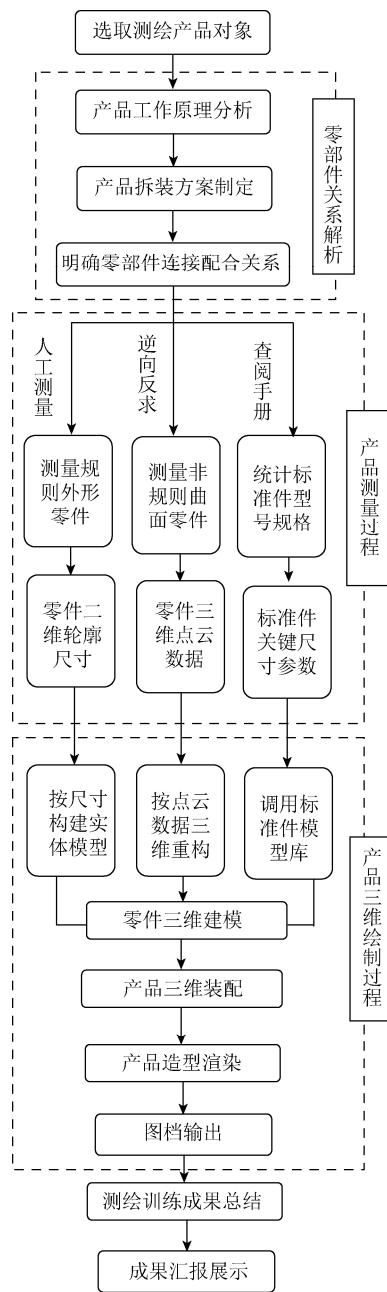


图2 测绘训练实施流程

4 实施结果

为保障基于逆向反求的《机器3D测绘》实践训练的顺利实施,华南农业大学工程学院自2016年起,对机械类和近机类相关课程教学计划进行调整。在开展《机器3D测绘》实践前,要求修完

《机械制图》、《互换性与技术测量》、《机械设计基础》、《机械 CAD/CAM 技术》等理论课程以及《三维建模软件》、《机械综合设计》和《CAD/CAE/CAM 综合训练》等实践课程。为指导学生综合运用相关理论和实践知识开展测绘，基于产品实例编写了训练指导教材，针对学生尚欠缺的逆向测量环节的软件应用步骤和方法进行了详细讲解说明。

学生《机器 3D 测绘》实践训练作品实例如图 3 所示。结果表明，选取生活实际产品作为测绘对象，能极大提高学生动手拆装的兴趣，激发学生的训练积极性。应用逆向重构方法，测量反求出实物 3D 模型，将实物转化为三维数字化模型，进一步拓宽了学生测绘思路与方法，提高了学生应用相关测量工具和三维重构软件的能力，提升了学生应用现代设计手段的能力。采用分组互评、师生共评、小组内自评的评价方法，实现了对每个学生实践训练成果的客观、全面和公正地评价。通过《机器 3D 测绘》实践训练，综合应用了前续基础理论与技能，为后续开展创新创业实践教学，

培养学生创新思维意识，增强就业和创业能力打下了良好基础。

表 2 小组成绩评分标准

评价因素	评价角度	权重系数(%)
零件功能结构解析	功能原理分析	2
	拆装顺序合理性	4
	测量方法	5
规则零件测量草绘	测量基准选取	5
	草绘表达与标注	15
	点云数据处理	5
非规则零件逆向反求	多边形平滑处理	7
	曲面拟合	8
	曲面精度偏差	5
	特征分解与构建	10
产品三维绘制	装配顺序	5
	渲染效果	10
	内容完整	4
总结报告	结构清晰	4
	报告表达	5
汇报展示	回答问题	6



图 3 学生训练作品实例

参 考 文 献

[1] 迟玉伦, 李郝林, 林建中. 汽车变速器拆装测绘实验教学的实践和探索[J]. 中国科技信息, 2011(13): 132, 135.

[2] 刘梅英, 任奕林. 工程图学拆装测绘实践教学探讨[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(2): 92-94.

[3] 李春玲, 周娟利, 张晓军. 《模具拆装与测绘实训》综合改革探索与实践[J]. 模具制造, 2016, 16(7): 90-92.

[4] 金涛, 陈建良, 童水光. 逆向工程技术研究进展[J]. 中国机械工程学报, 2002(16): 6, 86-92.

[5] 丁汉, 朱利民, 熊振华. 复杂曲面快速测量, 建模及基于测量点云的 RP 和 NC 加工[J]. 机械工程学报, 2003(11): 28-37.

[6] 吴建军, 林齐, 胡瑞华. 基于逆向工程的复杂曲面反求研究与应用[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(1): 90-92.

[7] 刘同海, 滕光辉, 张盛南, 等. 基于点云数据的猪体曲面三维重建与应用[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 291-295.

[8] 徐健, 贺婷婷, 徐慧, 等. 基于逆向工程的零件测绘实验教学平台建设的研究与实践[J]. 科技创新导报, 2014, 11(35): 153-154.

[9] 季劲松. 逆向工程中三坐标测量数据处理的研究及系统开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.

[10] 刘立晶, 杨慧. 基于 Geomagic Design 软件的导种管三维逆向工程设计[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 40-45.

[11] 成思源, 谢韶旺. Geomagic Studio 逆向工程技术及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010: 41-123.