

# FDM 3D 打印技术在机械专业教学中的应用探讨

王宏卫, 万熠, 靳一帆

山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室

**摘要:** 针对传统机械专业教学中教学方式平面化、三维教具制作成本高等问题,探讨了将低成本熔融沉积(FDM)3D打印技术应用于机械专业教学的可行性。以专业课程教具设计与制造为例,分析了3D打印应用的流程与成本。分析表明,在机械专业教学中应用3D打印技术可以实现教具的特殊性设计和快速低成本制造,将传统的二维教学模式转变为三维模式,从而激发学生积极性,提高教学质量。

**关键词:** FDM;3D打印;机械专业;低成本;教学应用

**中图分类号:** TG113.25;R71;TP391.7

**文献标志码:** A

## Introduction of Application of FDM 3D Printing for Mechanical Teaching

Wang Hongwei, Wan Yi, Jin Yifan

**Abstract:** In view of the teaching planarization and the high cost of three-dimensional teaching aid production in the traditional mechanical teaching methods, the application feasibility of the FDM (Fused Deposition Modeling) 3D printing for the mechanical teaching was discussed. Taking the design and production of teaching aid for mechanical engineering as an example, the process and cost of 3D printing was analyzed. Research show that the application of the FDM 3D printing in the mechanical teaching could realize the particular design of teaching aid and rapid low-cost manufacturing, the traditional two-dimensional teaching mode was transformed to three-dimensional mode, students' enthusiasm would be stimulated, and the quality of teaching would be improved.

**Keywords:** fused deposition modeling;3D printing;mechanical engineering;low-cost;application for teaching

## 1 引言

机械学科是一门理论与实践相结合的学科<sup>[1]</sup>,在传统的机械专业课程教学中,理论与实践相关性较强,教学中大量立体模型不仅用于展示结构,还涉及基本理论参数,对学生的空间想象和构造能力要求较高,理解学习难度大。目前的机械专业课程教学主要采用多媒体技术与三维模型教具参与教学,多媒体技术通过教学课件、图片、动画等平面形式参与<sup>[2]</sup>,对学生的空间想象能力有一定要求。三维模型教具可以带来显化、立体化的认知,提高学生的理解效果<sup>[3]</sup>,但教具的传统制作成本高,更新周期长,不能得到广泛应用,阻碍了学生通过教具学习专业知识。因此,机械专业教学中教具的设计与制造急需一种低成本、快速的生产方式,而近年来热门的3D打印技术可以满足这一需求。

## 2 3D 打印技术简介

3D打印也称增材制造,是一种通过CAD设计

数据,采用材料逐层累加的方法制造实体零件的技术。相对于传统的材料去除(切削加工)技术,是一种“自下而上”材料累加的制造方法<sup>[4,5]</sup>。

目前,具有代表性的3D打印技术主要有以下5种:立体光刻、分层实体制造、选择性激光烧结、熔融沉积成型、喷墨印刷<sup>[6,7]</sup>。这些3D打印技术有各自的特点和应用场合,表1为不同3D打印技术部分特点对比。

表1 不同3D打印技术部分特点对比

3D打印技术	打印精度	打印成本	打印效率	打印材料
立体光刻	好	高	高	光固化树脂
分层实体制造	好	高	高	箔材
选择性激光烧结	差	高	低	金属粉末、蜡等
熔融沉积成型	中等	低	中等	热熔性材料
喷墨印刷	差	中等	中等	固体粉末等

对比分析上述5种3D打印技术,其中FDM型3D打印技术主要通过将加热融化的热熔型材料层层堆积,从而获得三维实体<sup>[8]</sup>,正常打印精度为0.1mm,可以满足教具展示等要求,其打印成本较低,打印效率中等,理论上能够代替传统机械专业教具的定制和生产。另外,在打印材料方面,以聚乳酸(Polylactic Acid, PLA)作为FDM型3D打印机打印材料<sup>[9]</sup>,打印模型的强度和传统加工的塑料、橡胶

教具相当,并且这种材料具有可降解、绿色等特点,从而可以杜绝废弃教学用具处理回收过程中对环境的破坏。

### 3 在机械专业教学应用可行性实例研究

以机械专业教学中典型课程《机械制造技术基础》为例,介绍了典型教具(如刀具)的三维模型建立、3D打印过程和后期加工过程,对3D打印技术应用于机械专业教学的可行性进行了研究。

#### 3.1 教具三维模型的建立

教师可以指导学生通过 SolidWorks、Pro/E 等三维建模软件进行简单刀具三维建模<sup>[10]</sup>,建立数据库并引入激励机制,在成绩百分比中体现出来,以此调动学生的积极性。一方面可以通过这个过程理解消化课本知识和课堂教学内容;另一方面提高学生对专业知识的应用水平。对于复杂刀具或零件,也可通过三维扫描仪对刀具或零件轮廓进行扫描,获得点云数据,将其通过数字化逆向建模,最后通过3D打印机打印<sup>[11,12]</sup>。图1为刀具的三维模型图。

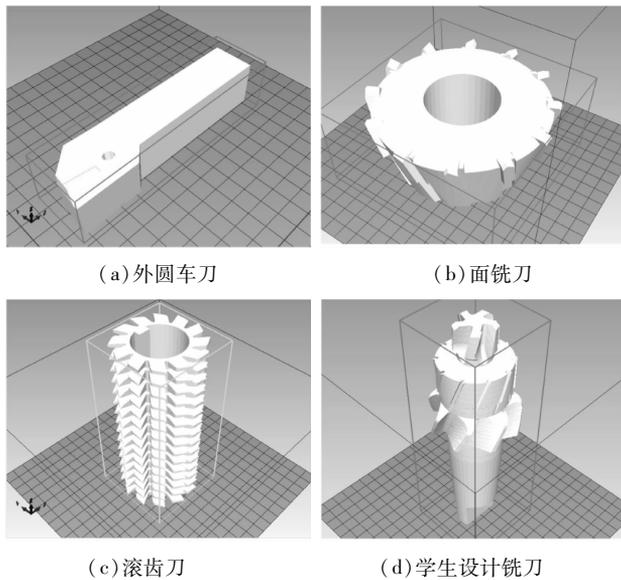


图1 常见刀具的三维模型图

#### 3.2 教具3D打印过程的实现

建立刀具三维模型库,为3D打印做好前期准备。本例中采用实验室自行研发的3D打印机,其控制主板为 Arduino mega 2560,步进电机控制芯片为 Ramps1.4 和 A4988,硬件采用龙门式结构,切片软件采用 Repetier。通过对模型切片和打印预览,本例中打印机设置的参数如表2所示。

其中模型比例受限于打印机可打印范围(长宽高 200mm × 200mm × 100mm),本例中选择打印比例为 1:1,采用单头单色打印,支撑材料和模型材

料一致。根据模型悬空情况选择支撑类型,为便于后期支撑的去除,支撑采用线条填充。其中影响精度的主要参数为打印层厚<sup>[13]</sup>,考虑到模型需求的精度,本例中单层厚度设定为 0.2mm。图2为3D打印刀具实体模型。

表2 FDM型3D打印机打印参数

参数	单位	数值
模型比例	-	1:1
模型材料	-	PLA
环境温度	℃	20
喷头温度	℃	215
热床温度	℃	20
耗材直径	mm	φ1.75
喷嘴直径	mm	φ0.4
单层层厚	mm	0.2
打印速度	mm/s	45
打印耗时	h	3.3
填充密度	-	30%
填充类型	-	格子
支撑材料	-	PLA
支撑类型	-	线

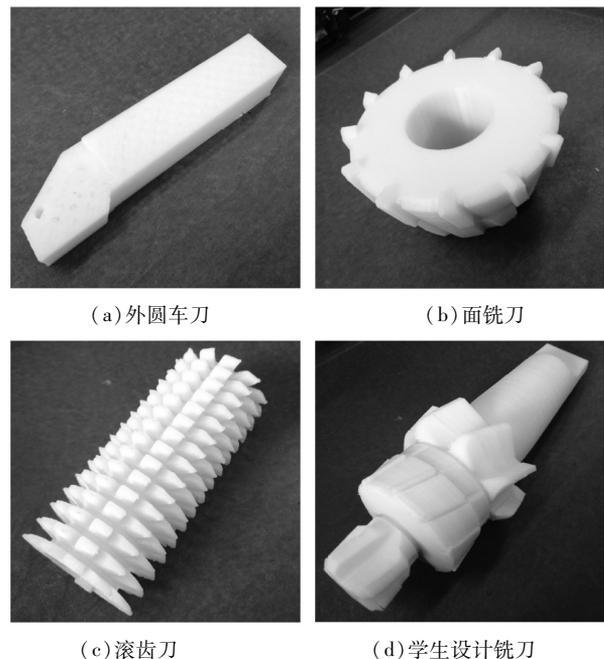


图2 刀具 FDM 3D 打印实体模型

通过式(1)对材料成本进行估算,有

$$S = Xy + (A + B)/t \quad (1)$$

式中, $S$ 为打印某零件的总成本; $X$ 为打印某零件所用耗材质量; $y$ 为耗材单价; $A$ 为打印某零件单位时间人工成本; $B$ 为打印某零件单位时间消耗电能; $t$ 为打印时间。

以图1中外圆车刀为例,其三维最大尺寸范围为 145mm × 32.52mm × 25mm。经过计算,该打印件质量为 0.0699kg,使用 PLA 耗材单价为 70 元/kg,

打印人工成本可以忽略,单位时间耗电电能为0.5469元,打印时间为3h18min59s,代入式(1)可以估算出打印该刀具成本为5.067元。相应大小的教具购买价格大约在数十元,对于单独设计的刀具,如果采用注塑工艺,开模费用甚至高达上万元。因此在费用方面,尤其是对于单独设计的刀具,3D打印具有明显的成本优势。

### 3.3 教具批量打印和后期加工

低成本使教具批量打印成为可能,类似于普通车刀、铣刀教具可以单次阵列打印,在完成小批量打印的同时节省了时间。经过FDM 3D打印的部分零件需要后期加工,去除支撑和毛刺,修复有缺陷表面,打磨以提高表面光洁度,对关键展示部分进行涂色处理。

### 3.4 效果展示

以外圆车刀为例,在《机械制造技术基础》第一章1.2节金属切削刀具的几何参数中,要求理解与掌握刀具的各切削面及切削角度。传统的教学方式中,外圆车刀切削部分采用平面图展示,效果较差,对学生空间想象能力要求较高,给课程后期的理论推导带来了困难。其与采用3D打印并涂色后的对比见图3,展示更加清晰,减少了对学生空间想象能力的要求,通过实际模型的参与,减少后期理论推导过程中对空间想象能力的需要,减轻学习困难。

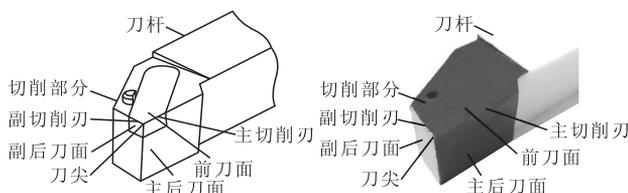


图3 传统刀具切削部分二维图和3D打印刀具涂色图对比

## 4 3D打印在机械专业教学中的应用分析

通过实例分析,将3D打印和机械专业教学中部分课程内容结合,可以提高学生对课程学习的参与度,调动学生掌握专业知识的积极性。3D打印的应用体现在以下几个方面:

### (1) 三维教学演示

不同于其他学科,工科专业往往要求学生动手能力强,空间想象能力好,尤其是在学习各类多面零件、装配件时,传统二维教学演示一般借助于多媒体或者二维图形教具,对学生的学习和理解带来了一定的难度。例如在《机械原理》、《机械设计》等主干课程中,传动机构教学、轴系结构设计,三维模型的参与,能够降低课程的枯燥程度,提升学生的学习兴

趣。3D打印的应用,实现了三维教学演示的低成本化和小批量化。

### (2) 设计辅助

通过三维建模,不仅可以为3D打印建立数据库,还可以锻炼学生的三维建模能力。在学生设计类课程的教学过程中,3D打印能够帮助摆脱单一的计算机绘图和文档计算,及时将所学内容应用于实际制作过程,有助于更好的掌握知识。机械产品的研发离不开设计,作为辅助的样机制作过程不可或缺,学生主要依靠虚拟技术能够实验虚拟装配,进而改进产品设计<sup>[14]</sup>。借助3D打印,学生可以直接、快速、精确地将设计思想转化为实际,通过生产、低成本小型样机,有助于解决虚拟技术中不能体现的问题,对于一些精度要求不高的复杂零件,在没有模具的条件下可以直接制作并使用,在节约时间的同时大大降低了开支,提高了生产效率<sup>[15,16]</sup>。

### (3) 故障模拟

机械专业中,有许多分析故障的教学内容,如切削刀具崩刃、齿轮损伤,使用真实教具经济性差,且数量有限,实际模拟危险系数高,并有可能损害机床或设备。3D打印的应用可以在降低成本、避免损伤的同时达到展示效果。

## 5 结语

本文通过研究低成本FDM3D打印技术应用于机械专业教学用具设计制造的过程,借助实例分析了打印某刀具的实际成本,并讨论了这种技术在机械专业教学中的应用。对于机械专业教学,低成本立体化教学方式的加入,能够减少学生的学习困难,提高学习效率和教学质量。虽然目前市场上的3D打印技术存在着打印精度低、模型力学性能差等问题,但随着3D打印技术的发展,更多高精度、低成本的3D打印技术与金属材料3D打印技术进入市场,将会带给3D打印更广阔的应用空间。

## 参考文献

- [1] 宋继忠,刘永葆,张树龙. 创新教育在机械工程实践教学中的应用[J]. 实验室研究与探索,2011(9):240-242,263.
- [2] 杨立平,赵立红,佟永祥. 机械制造基础课程中多媒体与板书教学方式研究[J]. 中国现代教育装备,2013,21:29-31.
- [3] 周永清. 机械原理创新教具学具进课堂[J]. 实验技术与管理,2016(2):11-13,37.
- [4] 卢秉恒,李涤尘. 增材制造(3D打印)技术发展[J]. 机

- 械制造与自动化,2013(4):1-4.
- [5]张学军,唐思熠,肇恒跃. 3D 打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程,2016(2):122-128.
- [6] Gibson I, Rosen D W, Stucker B. Additive manufacturing technologies [M]. Springer Science + Business Media, 2010.
- [7]封会娟,闫旭,唐彦峰,等. 3D 打印技术综述[J]. 数字技术与应用,2014(9):202-203.
- [8]Sood A K, Ohdar R K, Mahapatra S S. Experimental investigation and empirical modeling of FDM process for compressive strength improvement [J]. Journal of Advanced Research,2012,3(1):81-90.
- [9]张胜,徐艳松,孙姗姗. 3D 打印材料的研究及发展现状[J]. 中国塑料,2016,30(1):7-14.
- [10]梁焱,梁丽. SolidWorks 与 FDM 组合模式的教学应用[J]. 中国现代教育装备,2015(9):10-12.
- [11]成思源,周小东,杨雪荣. 基于数字化逆向建模的 3D 打印实验教学[J]. 实验技术与管理,2015(1):30-33.
- [12]肖德强. 模具设计制造中逆向工程技术的应用[J]. 装备制造技术,2013(7):134-135,159.
- [13]于海波,秦祖军. FDM 快速成型机原型精度分析及对策[J]. 装备制造技术,2014(5):139-140,163.
- [14]鞠全勇,郑李明,凌秀军. 基于快速制造的产品创新设计[J]. 机电技术,2012(6):50-51,54.
- [15]宋敏. 快速成型技术及应用[J]. 光机电信息,2008(9):42-47.
- [16]牛爱军,党新安,杨立军. 快速成型技术的发展现状及其研究动向[J]. 热加工工艺,2008(5):116-118.
- 第一作者:王宏卫,硕士研究生,山东大学机械工程学院,高效洁净机械制造教育部重点实验室,250061 济南市  
First Author: Wang Hongwei, Postgraduate, Key Laboratory of High-efficiency and Clean Mechanical Manufacture, College of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China
- 通信作者:万熠,博士,副教授,博士生导师,山东大学机械工程学院,高效洁净机械制造教育部重点实验室,250061 济南市  
Corresponding Author: Wan Yi, Key Laboratory of High-efficiency and Clean Mechanical Manufacture, College of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China

## 《现代刀具设计与应用》征订



《现代刀具设计与应用》由成都工具研究所、行业协会和专业学会及标委会组织高等院校、科研院所、刀具企业和用户企业的 10 余名刀具专家编写,国防工业出版社出版。本书介绍了近 20 多年来在先进制造技术快速发展过程中切削加工工艺的发展趋势,全面反映了切削技术和刀具专业所取得的新进展。

全书 600 余页,大 16 开,130 余万字,共 15 章,分成两篇。第一篇为刀具设计基础,共 7 章,介绍金属切削基本原理、刀具材料、刀具几何参数及结构设计、刀具涂层、工具系统及刀具装夹技术和刀具标准等现代刀具设计应用的基础知识;第二篇为刀具应用技术,共 8 章,内容涵盖了为获得最佳加工效果和正确应用刀具的系统专业知识,包括工件材料可加工性、切削数据库、切削冷却润滑等基础知识,以及高速、高效、硬切削、干式切削等切削新工艺,刀具动平衡和安全技术、加工表面完整性、铣削走刀路线及编程方法和刀具管理等切削刀具专业的新技术。内容翔实新颖,充分显示了刀具应用技术在现代切削技术中的重要性。

本书可供从事金属切削专业技术工作的工程技术人员、科研人员在开发刀具新产品、应用切削新工艺、提高加工效率、降低加工成本等实际工作实践中使用,也可作为高等或中等专业学校机制专业师生的参考书及各类切削技术和刀具培训班的教材。本书对刀具制造企业开展技术创新和提高为用户服务的能力起到积极作用,为我国装备制造业提升切削加工的技术水平具有重要的现实意义。

本书定价 128 元,欢迎专业工作者及专业图书资料部门订阅,联系方式:

成都府青路二段 24 号 工具技术杂志社发行部 电话:028-83245073 邮箱:toolmagazine@163.com