

3D 打印技术在机械学科教学中的应用研究

彭 翀, 徐振澎, 姜兴刚

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 昌平区 100191)

摘要 在机械专业的传统教学模式中, 教师在给学生讲解难以理解的概念、形状复杂的零件和原理复杂的机构时, 口头的讲授和二维的插图不能有效地帮助学生理解。实体教具虽然形象直观, 但使用不便且价格昂贵; 一些针对特定问题的教具难以购买, 不利于教学推广。3D 打印技术不仅可以缩短制作周期而且使用起来方便快捷, 使得不具备专业知识的老师也能够根据自己需要制作出相应教具。针对该问题, 研究了将 3D 打印技术应用到教具的设计制作中, 给出了教具制作的基本理论和操作流程的关键技术。实践证明, 3D 打印教具的使用大大方便了教师的课堂讲解。

关键词 教具; 模型设计; 3D 打印; 机械教学

中图分类号 G40-057

文献标志码 A

doi: 10.3969/j.issn.1672-4550.2017.05.016

Application of 3D Printing Technology in Mechanical Discipline Teaching

PENG Chong, XU Zhenpeng, JIANG Xinggang

(School of Mechanical Engineering & Automation, Beihang University, Changping 100191, China)

Abstract In the traditional teaching mode of mechanical engineering, teachers try to explain the difficult concept of complex shape parts and mechanism to students, teaching and two-dimensional illustrations cannot be effectively helped students understand. Although the physical teaching aids are vivid and straightforward, but they are very expensive to buy the specific models for special issues, and they are not convenient to be promoted. 3D printing technology can shorten the production cycle and be used easily. Those teachers who do not have the professional knowledge will be met their demands after using the corresponding teaching aids. To address this problem, the study uses 3D printing technology to design and produce teaching aids. The study also gives the basic theory and operation of processes. Practice has shown that the use of 3D printing teaching models greatly facilitate teachers to explain the complex concept.

Key words teaching aids; model design; 3D printing; mechanical teaching

教师在传统机械类课程教学中会讲解到一些复杂的概念或者某个机械零件的结构, 这时教师会用图片或者动画帮助教学。然而这些方式在实际教学过程中的效果并不是非常理想, 其主要原因有以下 3 个方面。

1) 这些方式缺乏直观性, 不能有效地帮助学生理解概念; 单靠图片、仿真动画学生难以理解一些复杂的概念, 难以想象出复杂零件的形状、机械系统结构以及工作原理。

2) 这些方式难以激发学生的学习兴趣; 与课本的文字解释、插图示意、仿真动画相比, 学生更倾向于对实物模型产生兴趣。但是在实际教学中, 有不少实物模型过于老旧, 或者过于昂贵, 学生只能看不能摸, 这在一定程度上打击了学生学习的积极性。

3) 传统机械实物模型成本较高, 对于一些特

定概念的讲解, 教师需要花费很多精力制作或购买专用模型, 不利于在教学中推广。由此可见, 现今的机械专业教学迫切需要一种能帮助学生理解概念与工作原理的新式教具。

3D 打印是以三维设计模型为本体, 用切片软件将其分解离散成很多层薄薄的切片, 然后由数控成型系统利用激光束、热熔喷嘴等方式将粉末状、液状或丝状金属或塑料等材料进行逐层堆积粘结, 最终叠加成型, 制造出实体产品的技术^[1]。近年来, 3D 打印技术在出现后得以迅速推广, 该技术也越来越广泛地应用在各行各业。在 3D 打印技术中, 桌面级 3D 打印机具有体积小、建模简单、制造快速、成本低廉等优点, 这使得 3D 打印技术应用于教学用具设计制造的想法成为现实^[2]。

本文从 3D 打印在教具行业中的应用入手, 具体设计出 3D 打印教具应用于机械专业教学之中,

收稿日期: 2016-03-07; 修改日期: 2016-05-18

作者简介: 彭翀(1974-), 男, 博士, 高级实验师, 主要从事数控加工与制造服务方面的研究工作。

并在实际教学过程中取得一定成果。

1 3D 打印技术概述

1.1 3D 打印技术简介

3D 打印技术是快速成形技术的一种,使用塑料、粉末状金属等粘合材料来逐层构造物体。由于 3D 打印无须机械加工也无需任何模具就能直接通过计算机建模构造任意形状的零件然后快速成形,极大地缩短了产品的研制周期、提高了生产率、降低了生产成本^[3]。

按照通常的标准,可以将 3D 打印技术分为以下 7 种:光固化成型、熔融沉积制造、选择性激光烧结、材料喷射、粘结剂喷射、片层压、定向能量沉积。目前已实现商品化的 3D 打印机以前 3 种方法为主^[4]。

从 3D 打印的出现,到近几年的快速发展,我国在该技术上取得了长足的进步,目前已经跻身世界前列,发展最为突出的是利用激光直接加工金属,该技术生产的零件机械性能良好,满足特殊要求,将来很有希望能够用于高端零件的装备制造。除此之外,我国生物细胞 3D 打印技术也有很大的发展,目前已经可以制造立体模拟生物组织。总体来看,我国在 3D 打印技术的核心领域已经与其他国家的先进技术基本处于同一高度;然而我国欠缺的地方还有很多,新型材料研发慢,软件开发以及装备不成熟等等。目前国内快速成型系统的科研团队主要包括清华大学颜永年团队、北京航空航天大学王华明团队、西安交通大学卢秉恒团队、华中科技大学史玉升研究团队等。

3D 打印技术是增材制造技术,这是近几年刚兴起的概念,与它相比,传统的制造技术被称作减材制造技术,通过车铣刨磨等加工技术把材料从毛坯上进行去除,从而制造出零件^[5]。3D 打印有着以下 3 点优势。

1) 个性化制作,通过专业建模软件使用者可以根据自己的需求设计出自己想要的三维造型,快速制造出传统技术无法实现的形状。

2) 缩短产品的研制周期,传统模型制作设计到很多复杂的步骤,需要耗费很大人力物力,制作周期长且繁琐,3D 打印大大简化了该过程,使得整个产品的研发生产时间大大缩短。

3) 提高原材料的利用率,由于省去了生产线,

3D 打印技术的使用降低了成本,减少了材料浪费,提高了生产效率,可以进行原材料的利用^[6]。

近几年来,桌面级 3D 打印机已经被广泛使用,它有着方便、小巧等优点,而其低廉的价格也让很多发烧友以及普通的小集体成为受众面,操作的简单化甚至让原本没有接触过该领域的普通大众也能发挥想象,创作出作品。桌面级 3D 打印机的发展已趋于成熟,在网络上就可以根据自己需求选择购买各种型号,有单喷头的,有双喷头的,打印材料有 PLA、ABS,此外用户还可以选择材料的颜色。

1.2 3D 打印技术在教具领域的应用

随着 3D 打印技术的不断发展,在产品设计开发的过程中该技术的应用也变得越来越广泛,目前主要用于航空工业、汽车工业、专业设计和医疗外科等领域。在教具领域 3D 打印的应用也颇为广泛^[7-8]。

在国内,2014 年 6 月,新疆首例 3D 术前模拟骨折整复手术成功,乌市中医医院骨科、医学影像科利用 3D 打印技术,按 1:1 的比例对患者受伤的踝关节部位进行三维重建,制作出仿真“骨模”,让摔碎的踝关节可以准确拼接并用钢板固定好。利用 3D 打印技术进行手术演练和教学,不仅可以大大提高手术的精准度、缩短手术时间,还可以减小手术创口、减轻患者病痛。除了医学上的运用,文献[9]运用 3D 打印机制作数学教具,将难以理解的空间概念具体化,打印出的圆锥截面模型、角锥体、立体镂空等比三角形等教具让学生对各种概念一目了然,同时 3D 打印材料价格上的优势省下了一大笔经费。美国弗吉尼亚大学的学生通过 3D 打印技术制造出一架模型飞机并成功试飞,飞机的所有零部件都是通过 3D 打印制造的。美国国家科学基金会的数字图书馆项目提供了很多 3D 打印动物和器官结构的模型,包括无脊椎和脊椎生物,很多是已灭绝的生物,该项目的参与者还扫描并打印复制了古人类化石。哈佛大学博物馆的研究人员也在利用计算机为收集到的残缺古代器具、化石等建立模型,然后运用 3D 打印出复制品用于科研与教学。

根据对美国 TeachThought.com 网站、2013 年版《地平线报告》等文献和其他一些资料案例的整理和筛选,不同科学领域使用 3D 打印辅助教学的例子如表 1 所示^[10]。

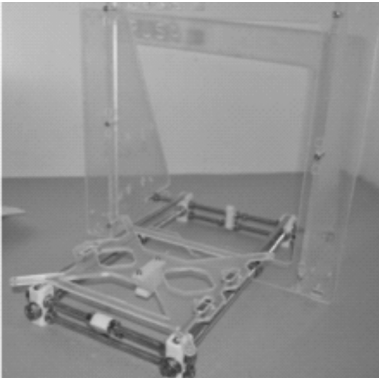
表 1 3D 打印在各学科教学中的应用案例		
序号	学科/领域	用法/案例
1	化学	制作 3D 立体分子模型
2	生物、医学	制作分子、病毒和器官等模型
3	数学	特殊几何体模型
4	地理	立体地形图模型
5	建筑设计	特殊建筑结构模型
6	历史、考古	复制工艺品、古董
7	物理、力学	设计力学结构模型, 进行力学实验

2 桌面级 3D 打印机的装配和使用

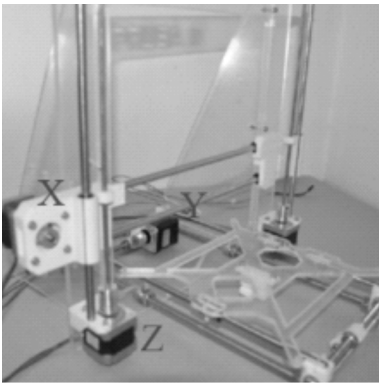
2.1 装配

本文组装的 3D 打印机型号是 Prusa i3, 是开源 RepRap 3D 打印机 Prusa Mendel 的第三代机型。相对于 Mendel 一代和二代的版本, 第三代结构简单, 造型更趋向于产品化。主要零件清单如表 2 所示, 组装步骤如图 1 所示。

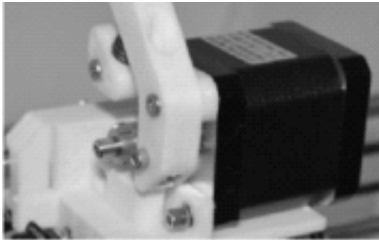
表 2 Prusa i3 主要零件清单			
五金件		电子件	
亚克力框架	1 套	Arduino 2560	1 个
塑料件	1 套	RAMPS1.4	1 个
同步轮、同步带	2 m	驱动模块	4 个
轴承	14	步进电机	5 个
螺杆	1 套	一体式挤出机	1 个
滑竿导轨	1 套	热床	1 个
紧固件	1 套	开关电源	1(12V×30A)个



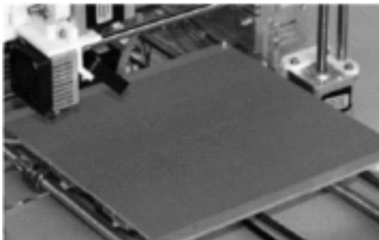
(a) 组装XY轴、框架和底盘



(b) 安装Z轴和步进电机



(c) 安装挤出机和热床



(d) 安装控制线路和限位开关

图 1 桌面级 3D 打印机组装步骤

2.2 3D 打印过程

提到“打印”一词, 很多人首先想到的是能够打印文稿的普通打印机, 而 3D 打印机的原理和喷墨打印机在某些技术上确实比较接近。桌面级 3D 打印机通过加热挤出机使材料达到熔点软化, 然后通过送料步进电机将其挤出到热床上, 在步进电机控制进给条件下进行层叠打印。一般来说用桌面级 3D 打印获得实体的步骤为“建模—分层切片—打印”3 个阶段。

1) 三维建模

使用三维建模软件, 对所需要打印的模型进行

建模。3D 建模有很多种，包括多边形建模、曲面建模和实体建模等等。多边形建模工具代表软件有 Metasequoia、3ds Max、Maya 等；曲面建模工具有 SolidThinking、Autodesk Alias 等；实体建模工具有 SolidWorks、Solid Edge、Proe、UG 等。每种建模工具都各有特点，可以根据产品特性选择不同的建模工具。以阶梯钻头的 SolidWorks 建模为例，建模的基本步骤如图 2 所示。

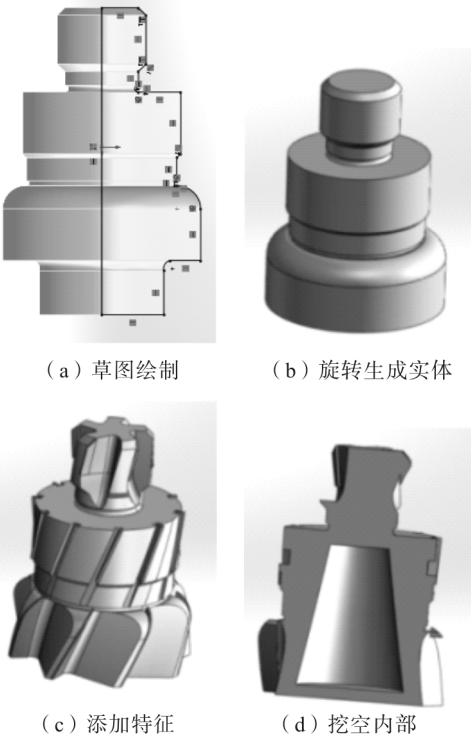


图 2 建模基本步骤

2) 实体模型分层切片

构建好实体模型后，需要对实体模型分层切片，分析喷头行走路径，生成 G 代码。G 代码可以指导热头移动到既定位置，使得材料堆积成型。在软件中可以设置被打印物体的填充密度和填充方式，以及热喷头移动速度等参数，以此决定打印的质量与效率。以 Slic3r 软件为例，切片基本步骤如图 3 所示。

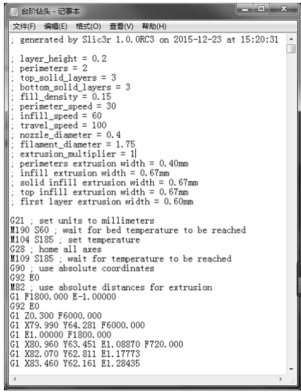
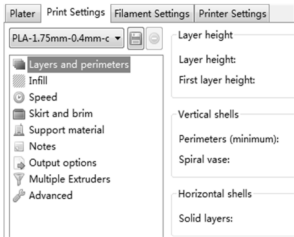
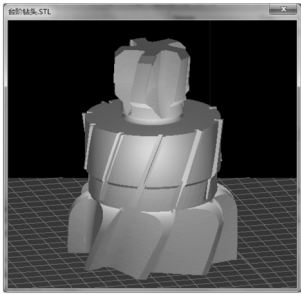
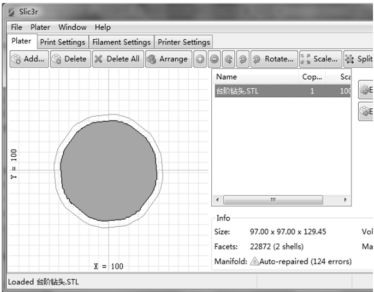
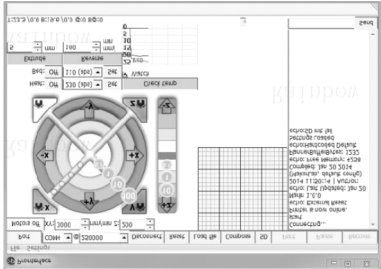


图 3 切片基本步骤

3) 进行打印

一台 3D 打印机的基本动作包括：实现 XYZ 轴的轴向运动，使得热头和热床加热到既定温度并保持，控制风扇的启停等。目前应用比较广泛的控制软件是 Pronterface，该软件可以对 3D 打印机实现实时控制。实际打印时将 G 代码下载到控制软件，加热热喷头和热床到指定温度，打印堆积成型。打印过程如图 4 所示。



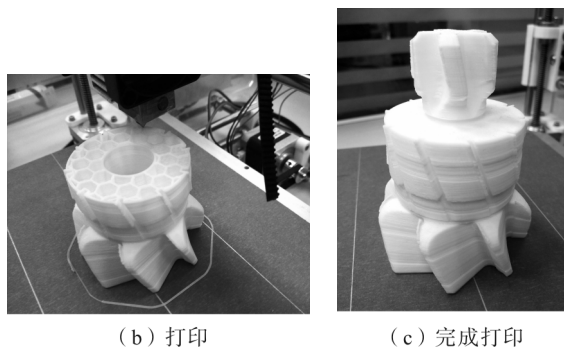


图 4 打印过程

3 3D 打印教具的设计及应用

如上所述, 3D 打印凭借其独特的设计生产方法可以应用到各个学科的教学, 对于机械这门学科我们更应该认识到 3D 打印技术的实用性和方便性。作为一种通用技术, 普通的桌面级 3D 打印机的组装与使用也很容易掌握。尤其是在设计领域以及工程相关的学科中, 3D 打印的使用能够快速的制作出便宜却高质量的模型。本文将介绍在 3 门机械专业相关课程中用 3D 打印技术打印出的教具。

3.1 “互换性与测量技术”教学中的应用

在互换性与测量技术课程的实际教学过程中,对于课程部分概念的讲解存在一定的难点,因为一些定义比较抽象,需要学生具有充分的空间想象能力和逻辑思维能力才能把概念想明白。在讲解时不仅需要教师保持思路的清晰,还需要学生专注于思考。为了更好地让学生理解该课程中有关于形位公差的概念,本文设计了以下两类教具。

1) 圆柱度

圆柱度定义：公差带是半径差值为公差值 t 的两同轴圆柱面之间的区域。标注含义：被测圆柱面必须位于半径差为公差值 t ($t=0.1$) 的两同轴圆柱面之间。如图 5、图 6 所示为圆柱度的三维模型，模型含义代表被测圆柱面必须位于两同轴圆柱面之间。

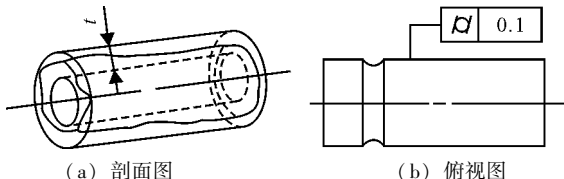


图 5 圆柱度定义和标注



(a) 模型 1

(b) 模型 2

图 6 圆柱度模型

2) 倾斜度

倾斜度定义：公差带是直径为公差值 t ，且与基准平面成理论正确角度的圆柱面内的区域。标注含义： $\varnothing D$ 孔轴线必须位于直径公差值 0.05 mm，且与 A 基准平面成 45° ，且平行于 B 基准平面的圆柱面内。如图 7、图 8 所示为倾斜度的三维模型，模型含义代表孔轴线必须位于上述圆柱面内^[11]。

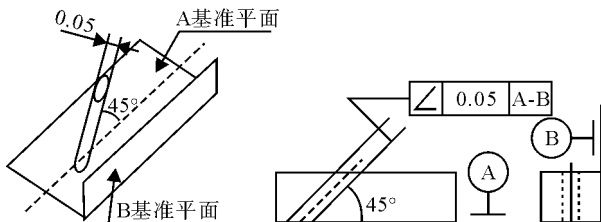


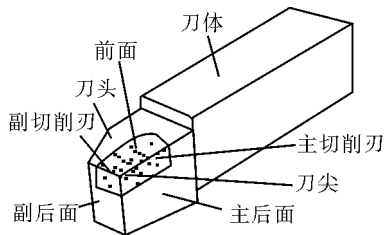
图 7 倾斜度定义和标注



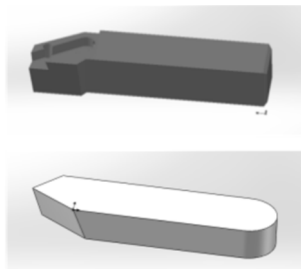
图 8 倾斜度模型

3.2 “机械制造装备”教学中的应用

在机械行业中最常接触到的就是刀具，那么对刀具的基本了解与认识就显得尤为重要。在课堂教学中，将实体刀具带到课堂上讲解，特别是一些偏大的实体刀具存在一定的不便，一些用途特殊的刀具价格又偏贵，很难出现在实际课堂教学中。而3D 打印的刀具模型具有轻便安全，以及价格便宜的优势，在实际教学中很有用处，本文设计了如图9所示几种刀具。



(a) 理论模型



(b) 三维模型



(c) 实体模型



(d) 铣刀模型



(e) 钻头模型



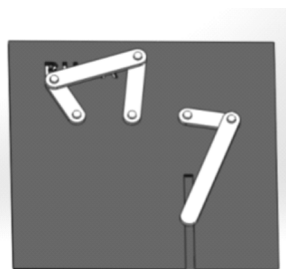
(d) 花式钻头模型

图 9 刀具模型

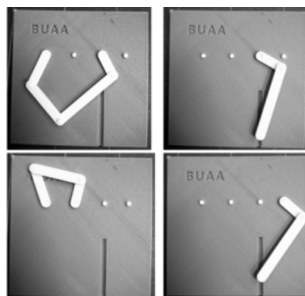
3.3 “机械原理”教学中的应用

在“机械原理”课程中，铰链机构的运动很经典。曲柄摇杆机构的含义是其中一个连架杆整周转动，一个连架杆摆动，同时连杆做平面运动；对于双曲柄机构，两个连架杆做整周转动，连杆做平面运动；对于双摇杆机构，两个连架杆都做摆动，连杆做平面运动。改变构件的相对尺寸可以使得机构在各种机构之间实现转化。

本文设计了一个常用机构演示教具模型（如图 10 所示），连杆的尺寸可以根据需要进行制作，打印一个连杆仅需要 2 min，然而其演示效果却很直观明了。通过组合，它不仅能够演示四杆机构，可以通过拼接与拓展演示五杆、六杆等机构，以及对心、偏心曲柄滑块机构等。



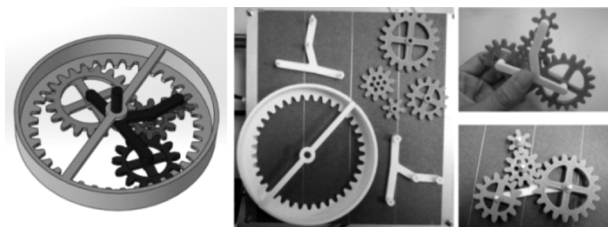
(a) 连杆



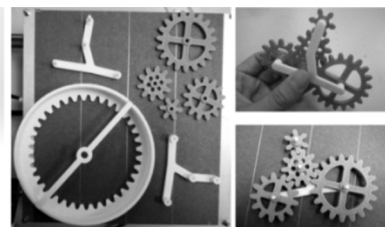
(b) 拼接

图 10 机构演示模型

在“机械原理”课程中，轮系的认识与设计也很重要。轮系一共有 3 种类型，包括定轴轮系、周转轮系和混合轮系。轮系中的行星齿轮很特殊，行星齿轮除了能够绕着转动轴转动外，它自身的转动轴能够随着行星架绕着其他齿轮的轴线转动。前者的转动称为自转，后者的转动称为公转。整个系统就像恒星系里的行星绕着恒星转动一样，因此得名^[12]。该种轮系如果只看静态图片，很难理解其转动原理，本文设计的行星齿轮系模型（如图 11 所示）可以准确啮合，展示时一目了然。



(a) 模型



(b) 零件

图 11 行星齿轮机构演示模型

4 结束语

在机械专业教学中存在着讲解困难而实体教具携带不便或昂贵的问题，该问题可以利用 3D 打印技术解决。本文首先对 3D 打印技术做了综述，又对桌面级 3D 打印机的组装和其相关软件的应用做了介绍，创新性地提出了利用 3D 打印技术打印机械专业教具模型的想法。通过探索与实践，成功将该想法应用到“互换性与技术测量”“机械制造工

(下转第 81 页)