

# 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, 北京市 100191)

**摘要:** 在机械专业的传统教学模式中, 教师在给学生们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的帮助学生理解。实体教具虽然形象直观, 但使用不便且价格昂贵, 针对一些特定问题的教具难购买, 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。针对这个问题, 该研究将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

文献标识码 B

## Application of 3D Printing Technology in Mechanical Discipline Teaching

PENG Chong, XU Zhenpeng, JIANG Xinggang

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

**Abstract:** In the traditional teaching mode of mechanical engineering, when teachers try to explain difficult concept of complex shape parts and mechanism to students, oral presentation and two-dimensional illustrations are not effective to help students understand. Although teaching aids are vivid and straightforward, it is very expensive to buy specific models for special issues, and it is not conducive to the promotion of teaching. 3D printing technology has a short production cycles and it not only can saves time of design and produce but also is easy to use. 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. Practices show that 3D printing teaching models greatly facilitate teachers to explain 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, 其主要原因有三方面。第一, 这些方式缺乏直观性, 不能有效的帮助学生理解概念; 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。第二, 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。第三, 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黏结, 最终叠加成型, 制造出实体产品的技术。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。

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, 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打印无需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，极大的缩短了产品的研制周期、提高了生产率、降低了生产成本。

按照通常的标准，可以将3D打印技术分为以下七种：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，定向能量沉积等<sup>[1]</sup>。目前已实现商品化的3D打印机以前三种方法为主。

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。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，减少材料浪费，提高生产效率，可以进行原材料的利用<sup>[2]</sup>。

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这个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。

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。负责人提到，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，台湾的一名中学数学老师陈宗义运用3D打印机制作数学教具，将难以理解的空间概念具体化，他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让他为自己和学校省下了一大笔经费<sup>[3]</sup>。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，不同科学领域内使用3D打印辅助教学的例子。详见表1。<sup>[4]</sup>

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

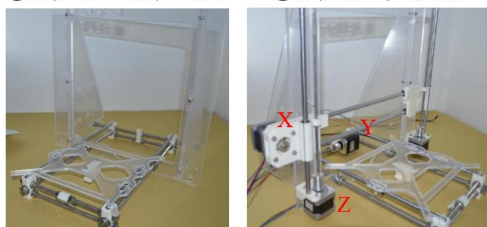
### 2.1 装配

笔者组装的3D打印机型号是Prusa i3, 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
塑料件	1套	RAMPS1.4	1
同步轮、同步带	2米	驱动模块	4
轴承	14	步进电机	5
螺杆	1套	一体式挤出机	1
滑竿导轨	1套	热床	1
紧固件	1套	开关电源	1 (12V*30A)

①组装XY轴、框架和底盘 ②安装Z轴和步进电机



③安装挤出机和热床 ④安装控制线路和限位开关

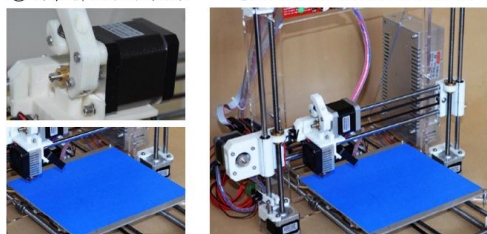


图1 桌面级3D打印机组装步骤

### 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、分层切片和打印三个阶段。

#### (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。

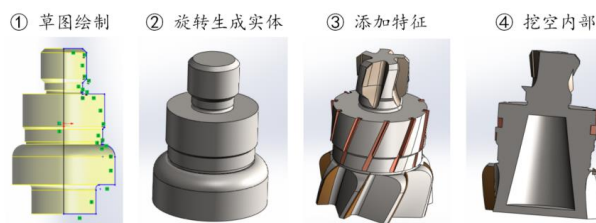


图2 建模基本步骤

#### (2) 实体模型分层切片

构建完实体模型之后,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。

①添加文件 ②检查模型位置 ③设置打印参数 ④输出G代码

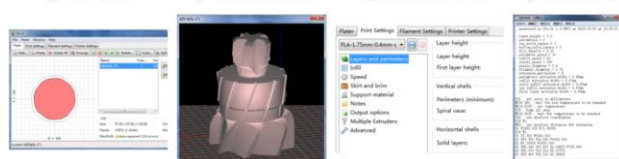


图3 切片基本步骤

#### (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。实际打印时的操作步骤是: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。

①导入G代码 ②打印 ③完成打印

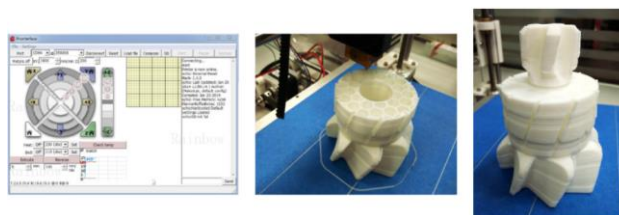


图4 打印过程

### 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中,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。下面,笔者将介绍在三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这门课程的实际教学过程中,对于这门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这个概念。为了更好地让学生理解该门课程中有关于形位公差的概念,笔者设计了以下几种教具。

##### (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。

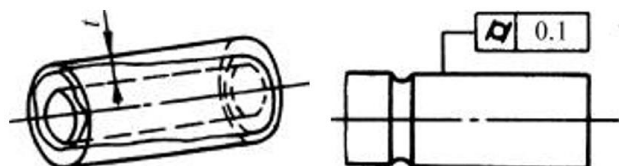


图5 圆柱度定义和标注

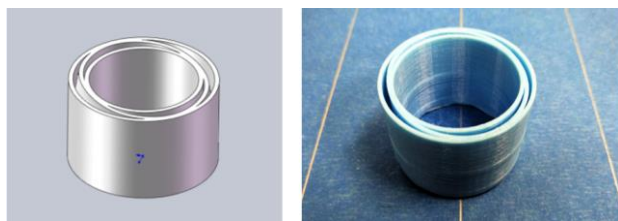


图6 圆柱度模型

##### (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: $\phi D$ 孔轴线必须位于直径公差值 $0.05\text{mm}$ ,且与A基准平面成 $45^\circ$ 角,且平行于B基准平面的圆柱面

内。如图7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<sup>[5]</sup>。

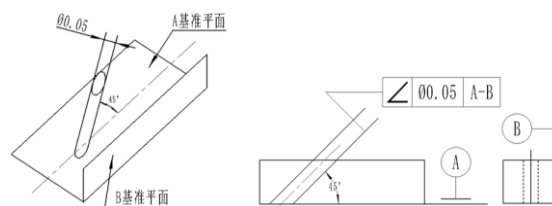


图7 倾斜度定义和标注



图8 倾斜度模型

#### 3.2 “机械制造装备”教学中的应用

在机械这门行业中最常接触到的就是刀具了,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存在一定的不便,一些偏大的实体刀具携带麻烦且易划伤手,一些用途特殊的刀具价格偏贵,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,笔者设计了以下几种刀具。

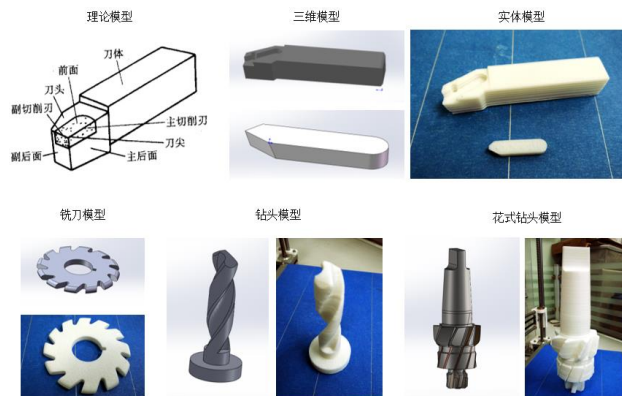


图9 刀具模型



图10 课堂展示

#### 3.3 “机械原理”教学中的应用

在“机械原理”这门课程中,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，两个连架杆作整周转动，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。

笔者设计了一个常用机构演示教具模型，连杆的尺寸可以根据需要进行制作，打印一个连杆仅需要两分钟，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。

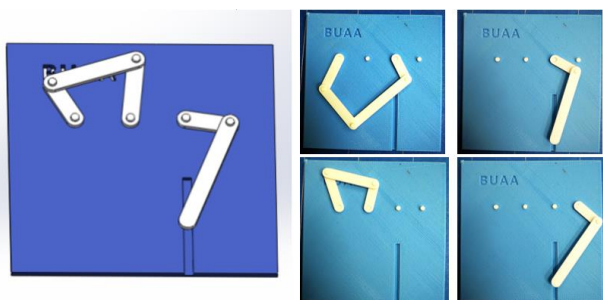


图11 机构演示模型

在“机械原理”这门课程中，轮系的认识与设计也很重要。轮系一共有三种类型，包括定轴轮系、周转轮系和混合轮系。轮系中的行星齿轮很是特殊，行星齿轮除了能够绕着转动轴转动之外，它自身的转动轴能够随着行星架绕着其它齿轮的轴线转动。前者的转动叫做自转，后者的转动叫做公转。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<sup>[6]</sup>。该种轮系如果只看静态图片，很难理解其转动原理，笔者设计的行星齿轮系模型可以准确啮合，展示时一目了然。



图12 机构演示模型



图13 课堂展示

## 4 结 论

在机械专业教学中存在着讲解困难而实体教具不便与昂贵的问题，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，创新性的提出了利用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”“机械制造工程原理”和“机械原理”这三门课程之中，在实际教学过程中取得一定成果。

教师在使用3D打印制作的教具时，可以将原来抽象的概念具体化，以此帮助学生理解隐性知识，还能够通过实体模型快速准确的讲解零件结构，以此拓展学生的感知能力，使得课堂更加生动形象。通过这种方式，学生的思路会变得更加清晰，学生的积极性也会得到提升，课堂的活跃能够充分改善教师教学效果，反过来又促进学生的学习效率。这种新兴技术的应用还需要我们继续探索，新的创新设计等待我们去挖掘。

## 参 考 文 献

- [1] 李小丽, 马剑雄, 李萍, 等. 3D打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 01:1-5.
- [2] 王萍. 3D打印及其教育应用初探[J]. 中国远程教育, 2013, 08:83-87.
- [3] 天公社. 台湾数学老师3D打印教具:既省钱效果又好[OL]. <<http://maker8.com/article-4026-1.html>>
- [4] 李青, 王青. 3D打印:一种新兴的学习技术[J]. 远程教育杂志, 2013, 04:29-35.
- [5] 周玉凤. 互换性与测量技术[M]. 清华大学出版社, 2008:48-53
- [6] 于靖军. 机械原理[M]. 机械工业出版社, 2013:271-277

编 辑