



ISBN 978-7-5349-9644-3



9 787534 996443 >

定价: 6.88 元



普通高中教科书

通用技术

选择性必修

产品三维设计与制造

河南科学技术出版社

普通高中教科书

# 通用技术

## 产品三维设计与制造

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社



河南科学技术出版社

普通高中教科书

# 通用技术

## 产品三维设计与制造

河南省基础教育教学研究室  
河南科学技术出版社 组编

河南科学技术出版社  
· 郑州 ·

总主编：傅水根

本册主编：李作林

核心编者：刘长焕 郑 晓 纪朝宪 何玲燕 施一宁 温明男

责任编辑：张晓东

美术编辑：张 伟

责任校对：徐小刚

普通高中教科书·通用技术（选择性必修）

产品三维设计与制造

高中二年级

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社

★

河南科学技术出版社出版发行

（郑州市郑东新区祥盛街27号）

邮政编码：450016 电话：（0371）65737028

河南日报报业集团有限公司彩印厂印刷

全国新华书店经销

★

开本：890mm×1 240mm 1/16 印张：6 字数：150千字

2020年3月第1版 2020年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5349-9644-3

定价：6.88元

著作权所有，请勿擅用本书制作各类出版物，违者必究  
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

电话：（0371）65788609 65721407

# 前 言

尊敬的老师们，亲爱的同学们：

你们好！

新版的“通用技术”系列教材与大家见面了。这套新教材是在习近平新时代中国特色社会主义思想 and 社会主义核心价值观指导下，遵循教育部 2017 年新颁布的课程标准编写的。

高中阶段为什么要开设通用技术课程呢？

通用技术是与专业技术有所区别的技术，在当代技术体系中较为基础，在日常生活与生产中应用较为普遍。通用技术课程以立德树人、提高学生的技术学科核心素养为主旨，是一门来自生活与生产、面向全体学生、立足实践、注重创新、体现综合、科学技术与人文相统一的课程，着眼于培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。每本教材的编写，都有高中教师的积极参与。

纵观我国科技的发展，从群钻的发明、人工合成牛胰胰岛素，到治疗疟疾的青蒿素，再到为世界粮食安全做出重大贡献的超级水稻，以及为我国通信安全做出重大贡献的量子通信卫星，都说明我们中国人在科技领域开始走在世界的前列。要使我国由制造大国转变为制造强国，为中华民族的振兴和世界的繁荣做出更大的贡献，我们的基础教育和高等教育还需要深化改革，以培养出更多高素质、强能力和富于创造性的年轻一代。

当前，我国社会主义建设进入新时代。应用本套教材，我们将深刻理解技术，初识并感受设计的魅力，体验设计的创造乐趣；我们将认识设计中采用的 CAD/CAM 等软件和图样表达技术，在物化过程中采用的车工、铣工、钳工等常规制造工艺技术，先进的数控加工技术、激光雕刻技术、三维打印技术、机器人技术、无人机技术和智能家居技术等，会接触到互联网、大数据、云计算、物联网、人工智能和绿色生态技术。从难以忘怀的学习和历练中，同学们会受到创新意识、工程思维、工程素养和工匠精神的感染与熏陶，提高服务国家和人民的社会责任感，增强勇于探索的创新精神和解决复杂问题的能力。

通过情景导入、思维导图和设计任务引领，本教材充分展现“做中学”与“学中做”这一教育改革理念，并为此特意增添了“做中学”栏目。这里的“学”是在核心素养指导下，亲身经历将创意转化为设计的过程，培养学生与实践基础上的动手能力、实践能力或物化能力；而其中的“做”，就是“设计结合

实践”。这种“做”不是盲目的，而是在完成具体项目的复杂过程中，以学生为中心，以教师为主导，体现出团队的合作与交流，旨在实现从思维创意到设计，再到产品物化的不间断的、系统的、完整的迭代与优化。在学生的亲身经历和体验中，既有丰富、活跃、探究式的深度学习与能力转化过程，也有进一步思考与挖掘技术背后隐含的设计思想、思维方法和价值观等问题。

学生亲身经历的、与“项目”或“任务”密切关联的实践活动，在人才培养中具有非常重要的多种转化功能，即将知识转化为能力，将潜力转化为实力，将自疑转化为自信，将历练转化为素质，将聪明转化为智慧。那么，如何实现这些转化呢？那就是在实践中观察，在观察中思考，在思考中领悟，在领悟中成长。

本教材将“技术意识、工程思维、创新设计、图样表达、物化能力”这一核心素养贯穿始终，力求在实践中做到：符合现代科技发展的实际情况；体现学科交叉与融合的时代特征；与丰富的生活紧密联系，结构合理，满足学生多样化发展的需要；立足融合科学、工程、数学、技术、人文和社会的视野，体现劳动教育，突出创新精神、创新思维、实践能力和工程素养的培养。

在科技发展日新月异的今天，具备良好的核心素养、知识视野、实践能力和创新思维，是未来攻坚克难，成为国家栋梁的必备基础。我们会发现，身边到处充满着技术与设计的应用，到处展现着创造与发明的魅力，到处都有新时代青年施展才华的舞台。

本分册由三维产品设计、三维产品技术分析、三维设计与制造原理、三维打印技术的应用四部分内容构成。学生先从三维产品的建模、装配、图样表达等基本技能入手，进一步结合无动力小车的设计与制作，学习三维产品技术分析的要素和思想。在上述基础上，由三维打印机的原理及使用，过渡到三维打印技术的应用，包括组织学生设计与制作台灯等三维打印产品，参与由创意、设计到物化的全过程。

尽管本套教材的编者付出了极大努力，但囿于编者水平，仍会存在不足甚至错误之处，恳请广大师生在教与学的过程中，运用批判性思维方法，积极思考，发现问题，提出宝贵意见，以便在修订时加以改进与完善。

编者

2019年3月

# 目 录

<b>第一章 三维模型设计</b> .....	1
第一节 三维产品设计 .....	2
一、三维产品设计的类型 .....	2
二、三维产品设计的流程 .....	3
三、常用三维设计软件 .....	4
第二节 Inventor 产品结构设计 .....	6
一、软件界面与常用操作 .....	6
二、Inventor 数字模型建立 .....	8
第三节 Inventor 建模方法与工具 .....	16
一、Inventor 建模方法 .....	16
二、Inventor 建模工具 .....	17
第四节 Inventor 运动模拟 .....	20
第五节 Inventor 的设计表达 .....	23
一、表达视图 .....	23
二、渲染输出 .....	25
三、模型文件输出与保存 .....	27
<b>第二章 三维打印原理</b> .....	30
第一节 三维打印技术的发展历程 .....	31
一、三维打印技术的产生 .....	31
二、三维打印技术的发展现状与未来 .....	32
第二节 三维打印技术原理 .....	34
一、三维打印技术的工作流程 .....	34
二、几种常见的三维打印技术 .....	36
第三节 三维打印的工艺过程和设备分类 .....	39
一、三维打印的工艺过程 .....	39
二、三维打印机的种类 .....	41

第四节	三维打印机的结构与操作	43
一、	三维打印机的结构	43
二、	三维打印机的操作	47
<b>第三章</b>	<b>三维打印技术的应用</b>	<b>53</b>
第一节	三维打印技术的应用	54
一、	三维打印技术在工业制造中的应用	54
二、	三维打印技术在医疗领域的应用	55
三、	三维打印技术在建筑中的应用	56
四、	三维打印技术与大众消费	56
第二节	灯罩的三维设计与制作	57
一、	产品研发的背景及意义	58
二、	台灯产品设计调研	58
三、	灯罩产品设计方案	59
四、	灯罩产品三维建模	59
五、	灯罩三维打印及后期处理	61
第三节	定制化骨科植入物	63
一、	研发背景及意义	63
二、	研发案例分析	63
三、	设计与制作流程及方案	64
四、	进一步思考与拓展	66
第四节	可重构无人机创新平台	67
一、	产品研发背景及意义	67
二、	产品设计思路	67
三、	基于无人机平台的探究	68
四、	体验创新实践的过程	68
<b>第四章</b>	<b>三维产品技术分析与实践</b>	<b>72</b>
第一节	项目的设计要求	73
一、	设计要求	73

二、无碳小车的测试流程 .....	74
第二节 设计中的技术准备 .....	75
一、影响小车爬坡的主要因素 .....	75
二、形成整体设计思路 .....	77
第三节 设计方案 .....	78
第四节 设计、制作与技术分析 .....	81
一、设计与制作的主要过程 .....	81
二、对车体的设计分析 .....	83
附录 部分中英文词汇对照表 .....	87



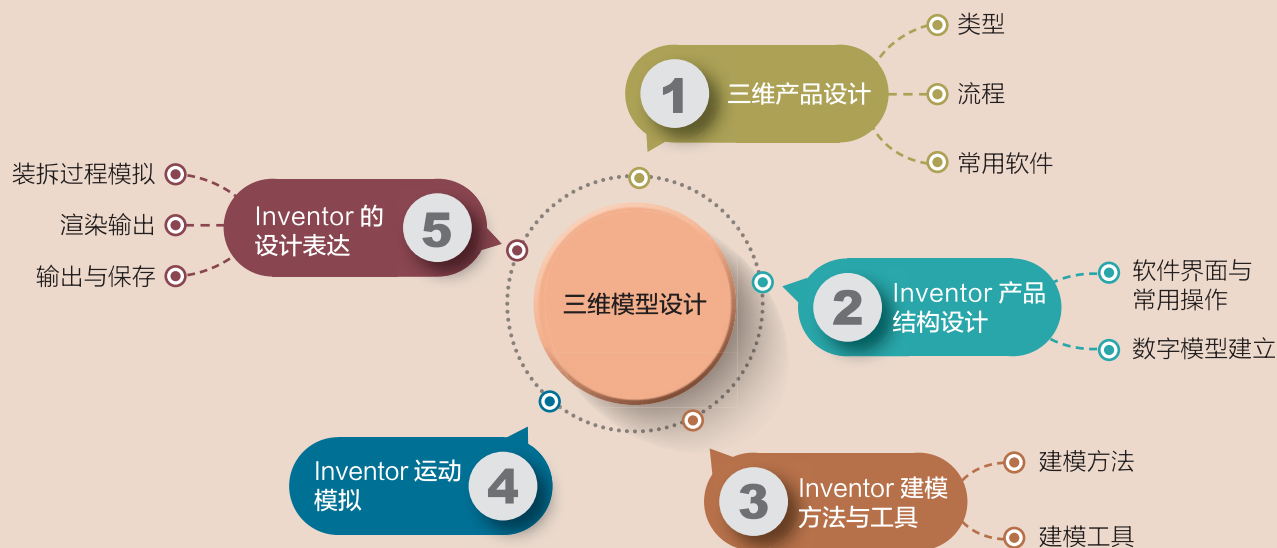
# 第一章 三维模型设计

## 导 言

众所周知，在传统的产品设计与制造方法中，产品的设计与制造过程不但非常复杂，而且经常是截然分开或时分时合，在优化迭代中完成的。很多产品的设计者是一批人，而制造者是另一批人；设计者采用的是一套系统，而制造者采用的是另一套系统。唯有三维（3D）打印技术实现了设计过程与制造过程的高度一体化和连续化。桌面级三维打印机的出现，使得我国高中阶段的学校有能力建立三维打印技术的教学环境，让学生学习三维打印技术，培养学生设计能力和物化能力。这样，学生在学习、实践与思考的过程中，设计、制造和创新思维的培养也将得到进一步落实。

学习三维打印技术，首先要把需要设计的三维物体用数字模型表达出来。本章将介绍通过三维设计软件建立产品数字模型，进而输出模型数据的方法。

## 思维导图



## 第一节 三维产品设计



### 学习目标

1. 了解三维产品设计的类型。
2. 体会三维设计的流程。

我们居住在三维世界里，几乎所有身边看得见的物体都是三维的。房屋、桌子、足球、汽车、餐具……这些物品给人们的生活带来了极大便利。可是，它们是怎么来的呢？

我们身边大部分物品是人们用智慧和双手创造出来的，一些物品经过了世代更迭，渐趋完美。图 1.1 是桥在不同时代呈现出来的样子。设计在其中起到了重要的作用。



a. 古代的桥



b. 现代的桥

图 1.1 不同时期的桥

### 一、三维产品设计的类型

产品设计是一项创造性的劳动，同时也是对已有成功经验的继承。如图 1.2 所示为不同时代的电话，你能说出它们在设计方面的不同吗？



a. 贝尔发明电话机



b. 手机的演变



c. 进一步完善与改进

图 1.2 产品设计的演变

### 1. 开发性设计

开发性设计是指在产品的工作原理和具体结构等完全未知的情况下，应用成熟的科学技术或经实践证明为可行的新技术，开发设计新产品。开发性设计是一种完全创新的设计，它有可能为产品带来革命性的突破（图 1.2a）。

### 2. 适应性设计

适应性设计是指在产品的工作原理和设计方案不变的前提下，对产品局部进行调整或增加附加功能，并在产品结构上做出相应的调整，使产品满足使用要求。适应性设计开发成本较低，可掌控性较大，对市场的反应相对迅速，是最常见的设计形式（图 1.2b）。

### 3. 变型设计

变型设计是指在产品的工作原理和功能结构不变的前提下，调整产品的具体参数和结构，以适应新的工艺条件或使用要求。变型设计往往运用于系列产品及相关产品的设计，是在统一概念的支撑下对不同使用环境的适应（图 1.2c）。

## 二、三维产品设计的流程

产品设计的过程大致包括规划设计、方案设计、技术设计、施工（含工艺）设计及改进设计等阶段，如图 1.3 所示。

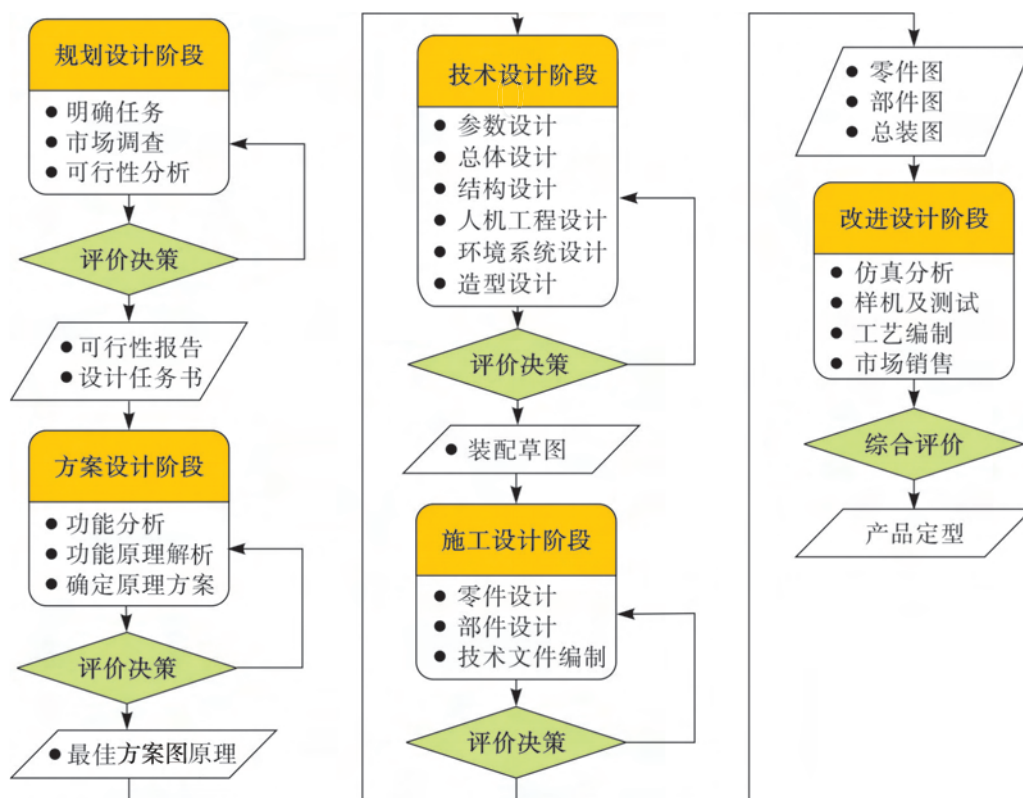


图 1.3 产品设计流程

在实际操作中，上述步骤和环节有可能根据实际需要进行调整，以便设计出符合要求的三维产品。

三维设计软件通常应用于产品方案的各个设计阶段，特别是技术设计阶段、施工（含工艺）设计阶段与改进设计阶段。三维产品的计算机辅助设计（Computer Aided Design，简称 CAD）技术是目前产品设计最常用的技术手段。三维 CAD 技术涵盖了产品概念设计、零件造型、组件装配、渲染、力学模型、结构分析、数控编程等一系列活动。结合各种设计方法和数据管理系统，可实现优化设计和协同设计。

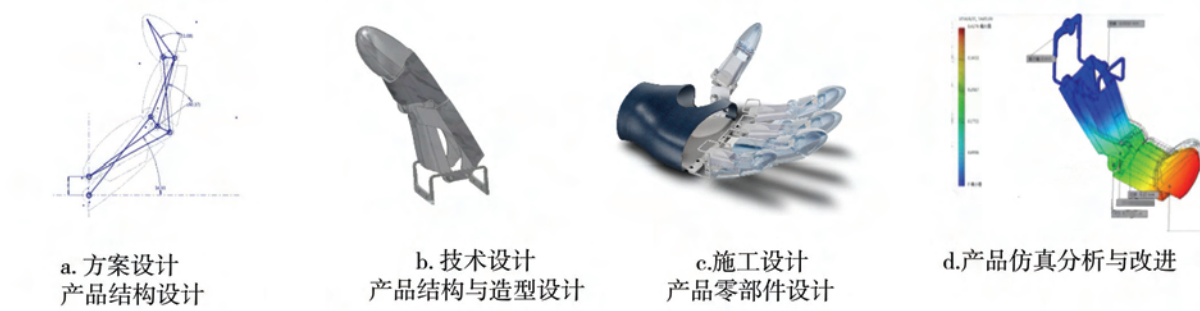


图 1.4 三维设计软件在设计中的作用

图 1.4 为使用三维设计软件 Autodesk Inventor（简称 Inventor）设计残疾人假肢的过程。

### 三、常用三维设计软件

三维设计软件种类很多，常见的有下面几种。

#### 1. ZW3D 软件

ZW3D是我国自主研发的、具有完全知识产权的、覆盖产品设计制造全流程的一款三维计算机辅助软件。该软件包含造型设计、模具设计、装配、工程图、数控编程、逆向工程、钣金设计等一系列智能化设计功能模块，具有兼容性强、易学易用等特点，能轻松完成从概念设计到产品设计之间的变化。ZW3D拥有智能化、标准化的全流程塑胶模设计，包括智能补孔、一键分模，一键生成水路/流道等一系列智能化塑胶模设计功能；可快速生成三维模型的二维工程图；高质量衔接计算机辅助工程（CAE），智能化生成2~5轴加工程序；拥有丰富的、种类繁多的标准件，可真正实现从设计到加工制造一体化。

#### 2. Autodesk Inventor

Autodesk Inventor 为机械制造行业提供完整的数字样机解决方案，其主要特点为：

（1）设计数据相互关联，如修改零件模型，变更将自动应用至部件、工程图等相关文件，有效减少重复性工作。

（2）自适应与多实体技术，有效帮助设计师进行自上而下的关联设计，从而提高产品设计效率。

（3）资源中心包括各国标准的零件库，如轴承、螺钉、螺母等各种标准零件，可直接装入产品数字模型而无需重复创建。



## 第二节 Inventor 产品结构设计










### 学习目标

1. 熟悉 Inventor 软件界面。
2. 通过设计水杯和台灯,理解“自下而上”和“自上而下”两种设计思想,掌握利用软件创建模型的方法。
3. 了解用 Inventor 进行产品部件运动模拟的流程,掌握运动模拟的方法。
4. 了解表达视图的作用,掌握使用 Inventor 创建表达视图的方法。
5. 了解渲染输出的作用,掌握使用 Inventor 创建产品效果图的方法。

本节将讲述使用 Inventor 进行产品结构设计的方法。在介绍 Inventor 基本操作与界面的基础上,我们通过学习使用 Inventor 软件制作两个简单的模型来理解“自下而上”和“自上而下”这两种产品建模的方法,并进一步介绍使用 Inventor 进行产品设计表达的有关内容。

本书所涉及的三维设计皆以 Autodesk Inventor Professional 2017 为工具进行制作, Inventor 软件的基本操作与常用技巧如表 1.1 所示。

表 1.1 Inventor 软件的基本操作与常用技巧

分类	零件模板		部件模板		工程图模板		表达视图模板
图标	 Standard.ipt	 Sheet Metal.ipt	 Standard.iam	 Weldment.iam	 Standard.dwg	 Standard.idw	 Standard.ipn
内容	标准零件	钣金零件	标准部件	焊接组件	工程图 dwg	工程图 idw	表达视图 (爆炸图)

在上述图标中,零件模板多用于创建零件模型;部件模板常用于完成部件装配,即指定零件间的位置关系与运动方式;工程图模板可用于创建零部件的平面图纸,供加工制作用;表达视图模板用于拆解部件,展示部件组成与装拆方式。

### 一、软件界面与常用操作

Autodesk Inventor Professional 2017 界面如图 1.7 所示,各部分作用如下。

(1) 工具面板工具模板按照逻辑关系分类存放各种工具图标按钮,不同类型的图标按钮存放在不同的选项卡中。对于零件、部件、工程图或表达视图等不同模板,工具面板与选项卡也会有所不同。

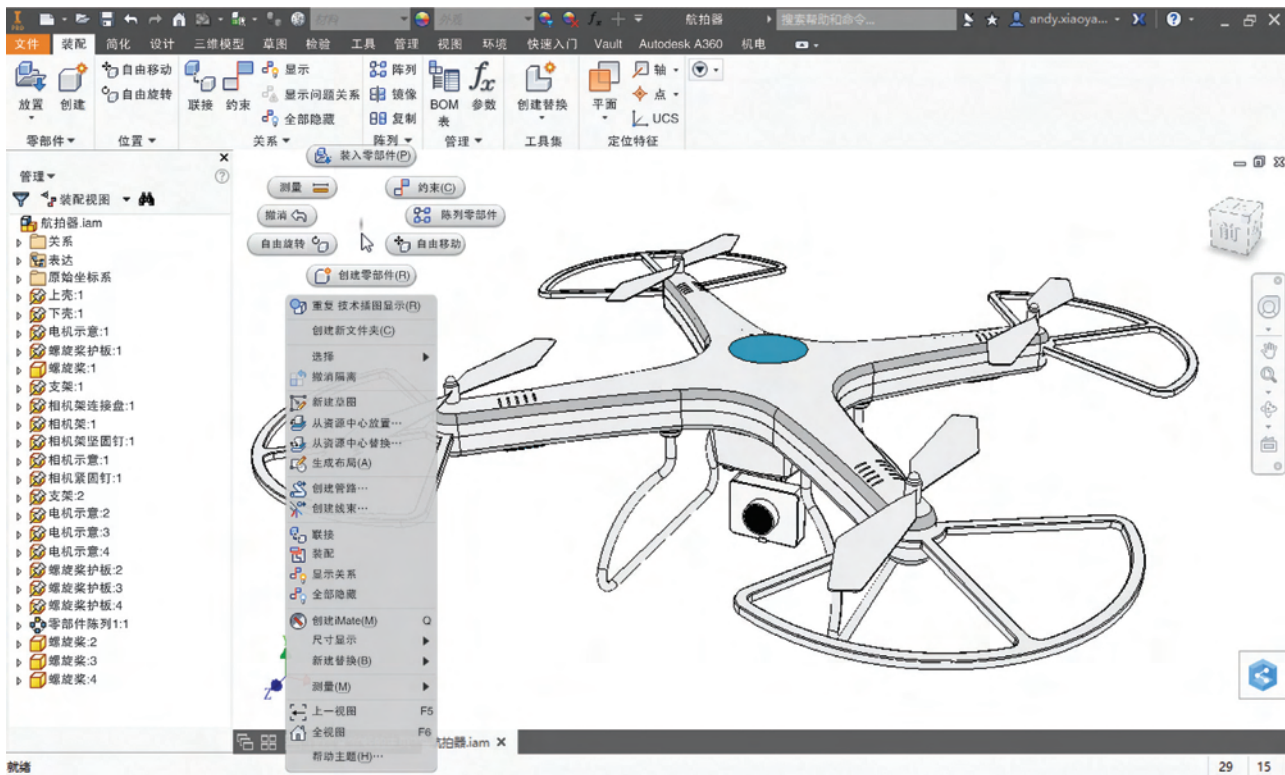


图 1.7 Autodesk Inventor Professional 2017 界面

(2) 浏览器。浏览器显示了特征、零件、部件、工程图等组织结构层次。如图 1.8 所示为零件模块的浏览器，它直观地记录了草图、特征与零件的关系，以及零件模型的创建步骤。

(3) 右键菜单。右键菜单是 Inventor 通过自动推测下一步的可能操作，提供所需的工具，分为右键环形快捷菜单与右键关联菜单。其中，右键环形快捷菜单将相关的工具放置在光标的四周，若需使用这些工具，可右击后选取，也可按住右键向相关位置拖动选取。

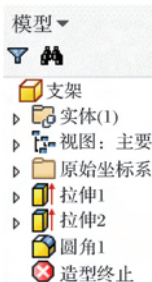


图 1.8 零件模块浏览器

(4) ViewCube 控制块。界面右侧的 ViewCube 控制块用于选择三维模型的观察角度。单击其顶点、棱边或平面，均可调整观察的方向，如图 1.9a 所示；将 ViewCube 控制块的某一平面放正后，还可通过单击箭头在保证已经放正的平面不动的情况下旋转模型，如图 1.9b 所示；此外，拖动 ViewCube 控制块的顶点，可对模型进行自由旋转，如图 1.9c 所示。



图 1.9 ViewCube 控制块

与其他三维设计软件相似，Inventor 也可通过键盘与鼠标搭配，直接快速调整图形区中模型的视角、位置与缩放比例。按住鼠标中键及“Shift”键移动鼠标，可对模型进行三维旋转；按住鼠标中键移动鼠标可将模型平移；滚动鼠标中键可调整模型的缩放比例。



### 活动延伸

请在软件中尝试建立“标准零件”“钣金零件”，观察软件界面的异同，并尝试将所建文件保存。

## 二、Inventor 数字模型建立

进行产品设计时，创建产品三维模型通常使用“自下而上”和“自上而下”两种方法。

“自下而上”指从零件开始的产品设计过程，即在不同环境中分别进行各零件的设计与三维模型创建，再进入部件环境将这些零件进行组装，完成产品模型建立的设计方法（图 1.10a）。

“自上而下”指从整体开始，在同一环境中完成产品各部分零件的设计与模型建立，由整体模型直接生成产品全部零件模型的设计方法（图 1.10b）。

使用“自下而上”进行设计的产品零部件相对独立，而使用“自上而下”进行设计的产品整体性较好，且便于根据零部件的相互关系完成设计。故前者常用语针对成熟产品的模型建立或设计改进，而后者常用语适应性设计与创新性设计。实际设计中，通常综合使用两种设计方法，对于产品特有的部分采用“自上而下”设计，在整体环境中建立产品模型；而对于各产品通用的、具有互换性的部分采用“自下而上”设计，使用通用性模型直接进行装配。

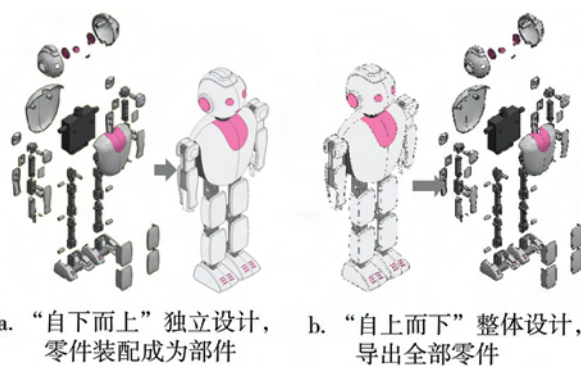


图 1.10 常用设计方法



### 探究与交流

请你和同桌分别讨论一种适合“自下而上”和“自上而下”的模型设计过程，分析其组成部分，并简述其组成过程。

下面我们将用两个案例，分别介绍使用 Inventor 进行“自下而上”和“自上而下”模型设计的方法。

### 案例 1 “自下而上”创建水杯模型

如图 1.11 所示为一个水杯的构型图，包含杯体与杯盖两部分。我们将分别创建水杯杯体与杯盖两部分模型，再进行部件装配。这种建模方式就是所谓的“自下而上”的设计方式。



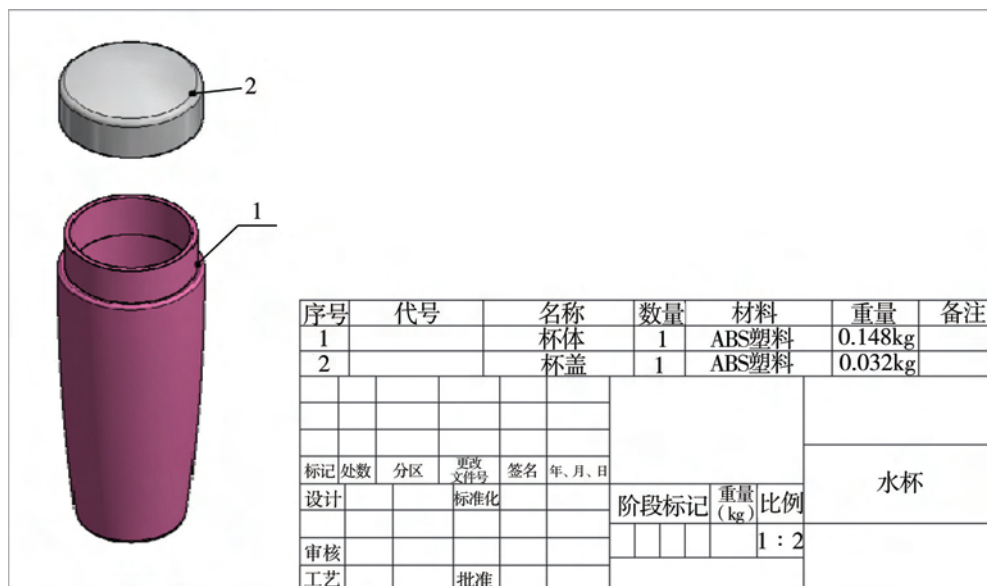


图 1.11 水杯构型图

首先创建杯体模型。杯体零件如图 1.12 所示。

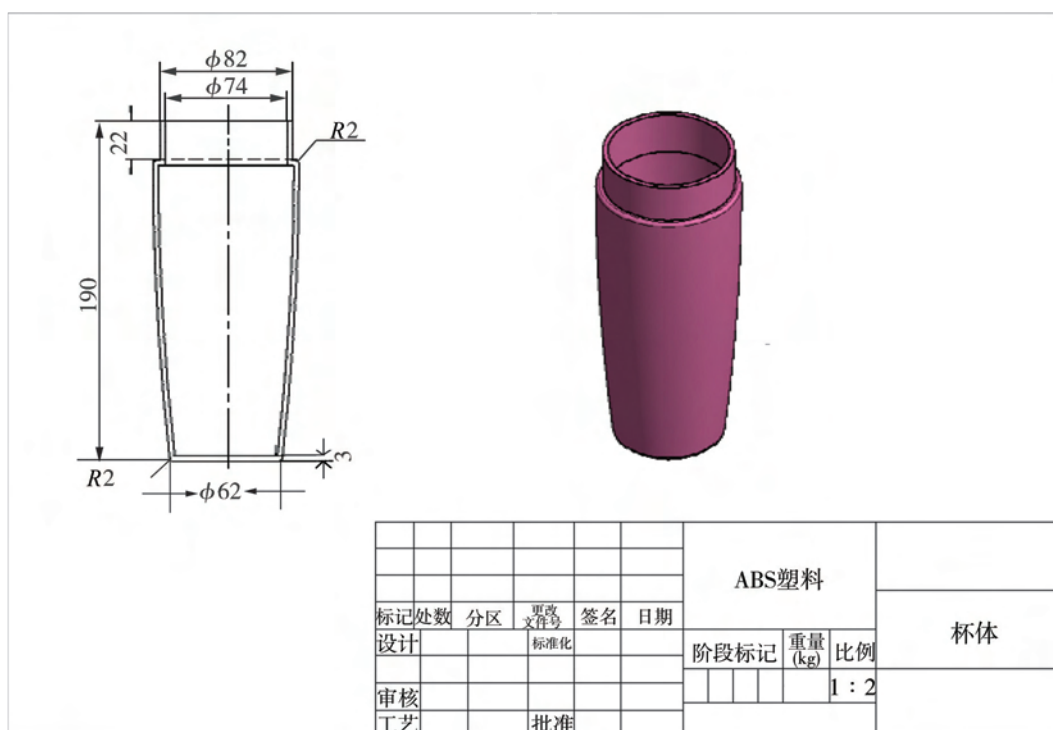


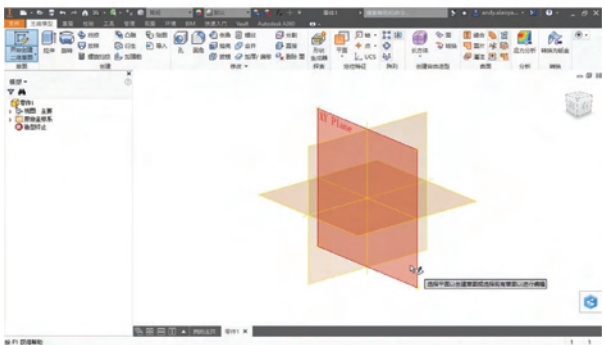
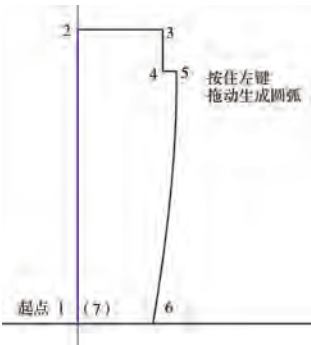
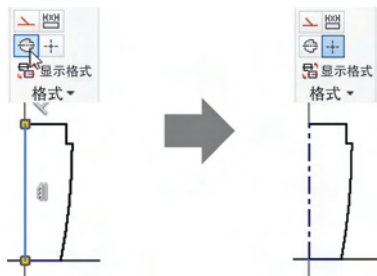
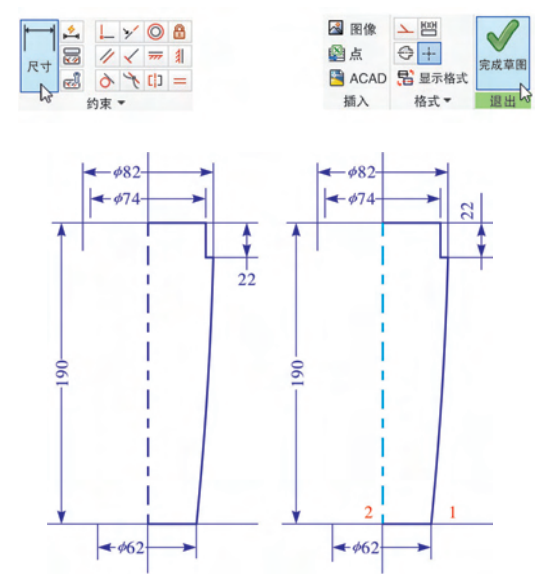
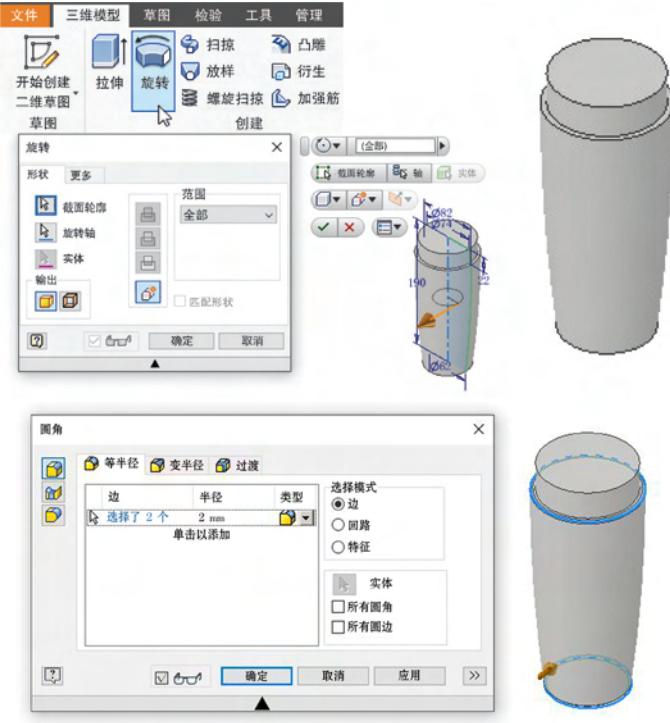
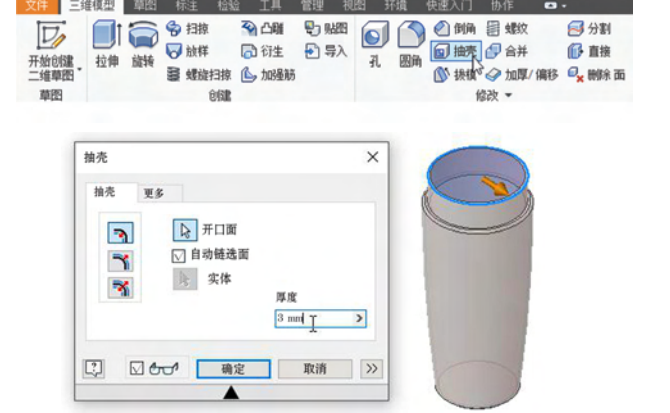


图 1.12 杯体零件图

使用 Inventor 软件创建杯体的零件模型的步骤与流程。

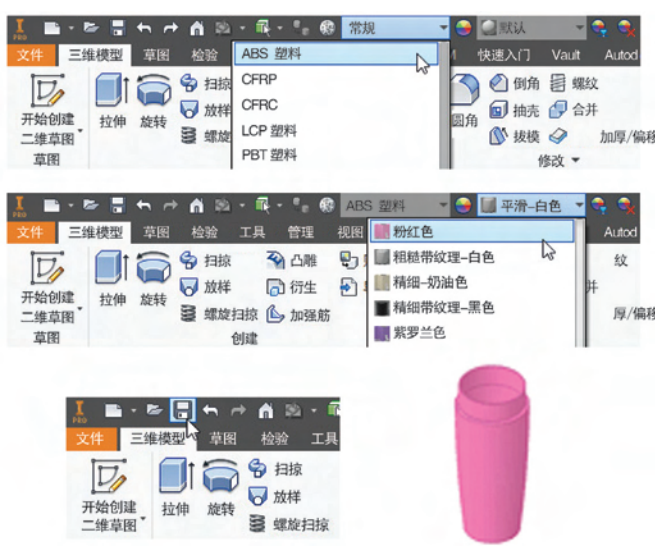
<p>01</p>	<p>新建零件并创建草图。</p> <p>①启动Inventor，选择“Standard.ipt”创建零件文件。</p> <p>②单击工具面板“开始创建二维草图”按钮，并在图形区中选择原始坐标XY平面作为草图面创建草图。</p> <p>注：通常通过单击图形区对应面的角点或边线选择平面。</p>	  
<p>02</p>	<p>绘制杯体轮廓草图。</p> <p>①单击工具面板“草图”选项卡的“线”按钮，以原始坐标原点为起点，按左击确定线段端点的方法，参照右图顺序绘制杯体轮廓。右图包含一段与已有线段垂直的圆弧，该圆弧亦可用“线”工具创建。创建方法：选择“线”工具后，首先于圆弧起点位置单击并按住鼠标左键的同时向左下方拖动，便可生成与现有线段相垂直的圆弧。</p> <p>②图形区中单击选中代表杯体轴线的线段，再单击工具面板“格式”区域的“中心线”按钮，将选中线段的特性更改为中心线。</p>	 

<p>③单击工具面板“约束”区域的“尺寸”按钮，按右图添加尺寸信息。</p> <p>注：添加长度尺寸时，可通过单击选择线段，再次单击放置尺寸的方式进行，并在尺寸对话框中输入对应的数值；添加直径尺寸时，可通过先单击选择相应的点或线段，再单击选择中心线的方式进行，并同样在尺寸对话框中输入对应的数值。</p> <p>④单击工具面板“完成草图”按钮，退出草图环境。</p>	
<p>添加杯体旋转及圆角特征。</p> <p>①单击工具面板“三维模型”选项卡中的“旋转”按钮，单击“确定”为草图轮廓添加旋转特征。</p> <p>②单击工具面板“圆角”按钮，为模型对应边添加半径为2mm的圆角特征。</p>	
<p>添加杯体壳体特征。</p> <p>单击工具面板“抽壳”按钮，将杯体上表面确定为壳体特征的开口面，并指定壳体厚度为3mm。</p>	

指定材质并保存文件。

①通过顶部下拉菜单指定杯体的材料与外观样式，如选择“ABS 塑料”材料，并指定其外观样式为“粉红色”。

②单击顶部“保存”按钮，输入文件名为“杯体”，指定路径后保存文件。





### 活动延伸

请利用 Inventor 软件，仿照上面的过程，自行建立杯体模型，并尝试按照图 1.13 建立杯盖模型。

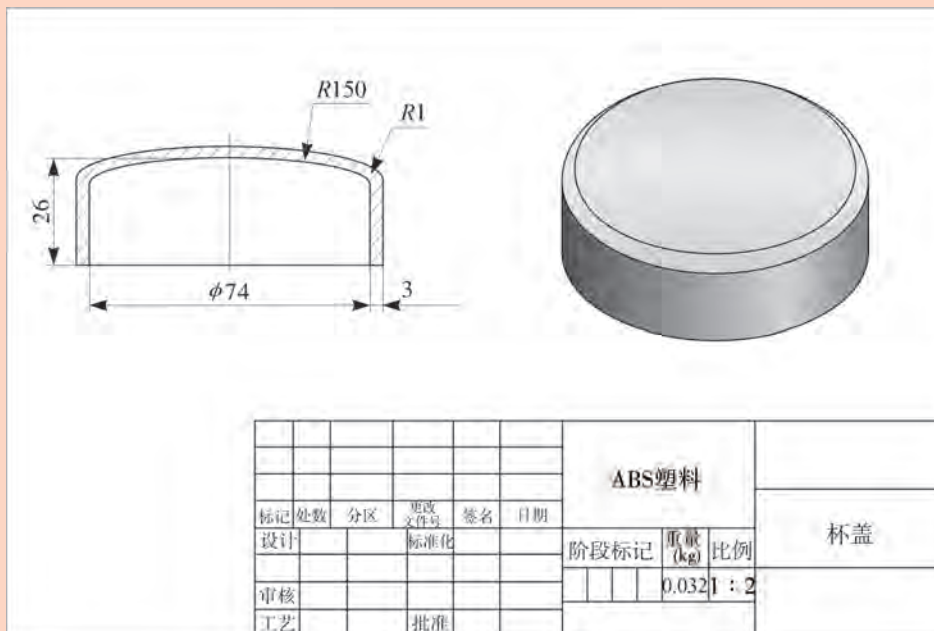
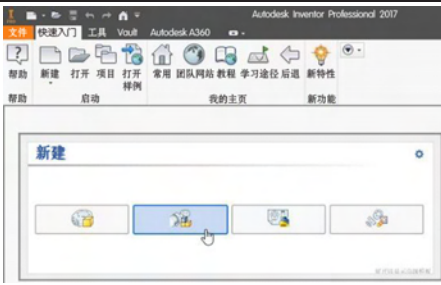
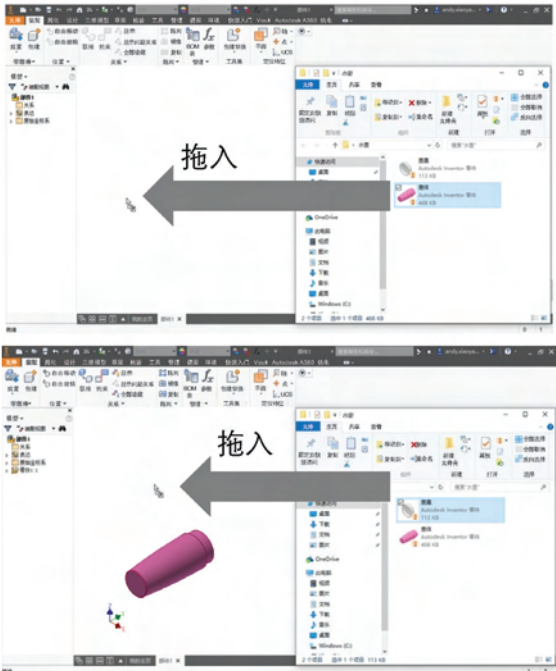
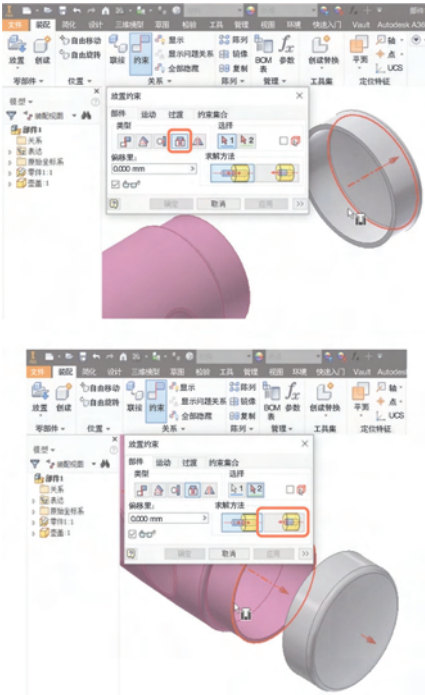



图 1.13 杯盖零件图（单位：mm）

现在,水杯所必需的两个部件模型杯体和杯盖创建完成,也就是说我们已经完成了“自下而上”过程中“下”的部分,接着我们将完成“上”的部分,将构成水杯的两个单独部件进行装配。

01	<p>启动 Inventor, 在“快速入门”中的“新建”内单击“创建部件”按钮, 新建部件文件。</p>	
02	<p>装入部件所涉及的零件。</p> <p>①由于第一个进入部件环境的零件将处于固定状态——零件原始坐标与部件原始坐标相重合, 故首先将杯体装入部件环境, 建议从文件夹中直接将零件“杯体”拖入部件环境。</p> <p>②用同样的方法, 从文件夹中将零件“杯盖”拖入部件环境。</p>	
03	<p>单击工具面板关系区域的“约束”按钮, 选择“放置约束”对话框“部件”选项卡中的“插入”类型, 再在图形区中单击选择杯盖内表面圆角棱边和杯体顶面杯口棱边, 单击“确定”按钮添加约束。添加约束的目的是使选定的棱边对应的表面及轴线相互重合。</p>	

04	<p>单击顶部“保存”按钮，输入文件名“水杯”，指定路径后保存文件。水杯模型创建完成。</p>	
----	---	--

至此，完整的水杯模型就做好了。请同学们反复进行练习，熟悉各部分操作，熟能生巧，巧能出灵，灵则致创。

### 案例 2 “自上而下” 创建台灯模型

台灯由灯罩、灯杆和底座三部分组成，各零件间相互关联，装配过程中需保证底座及灯罩上插接灯杆的插接口尺寸大小与灯杆相吻合。因此在使用 Inventor 创建台灯模型的过程中，建议采用“自上而下”的方式创建台灯模型。台灯工程图如图 1.14 所示。

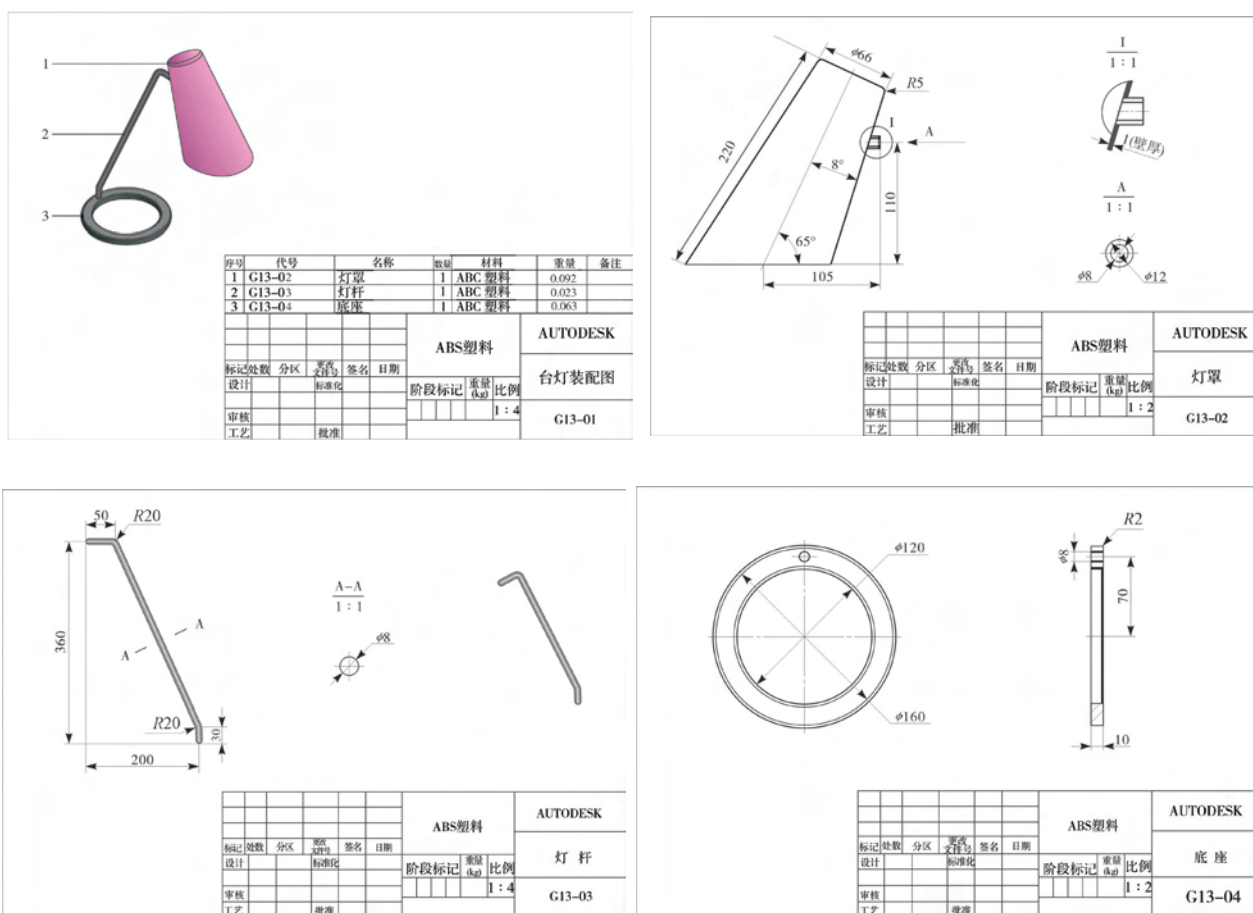


图 1.14 台灯的工程图 (单位: mm)

对于该案例，本书只介绍步骤说明及完成样式，具体建模部分可由大家自主完成。

第一步，按照工程图中的参数进行灯罩主体部分设计，如图1.15所示。

第二步，根据已经创建完成的灯罩，在此环境中继续创建与灯罩连接的灯杆，如图1.16所示。

第三步，创建灯座，并装配所有零件，完成台灯的模型制作，如图1.17所示。

第四步，选择零件颜色或材质，更改外观样式，完成最终设计，如图1.18所示。

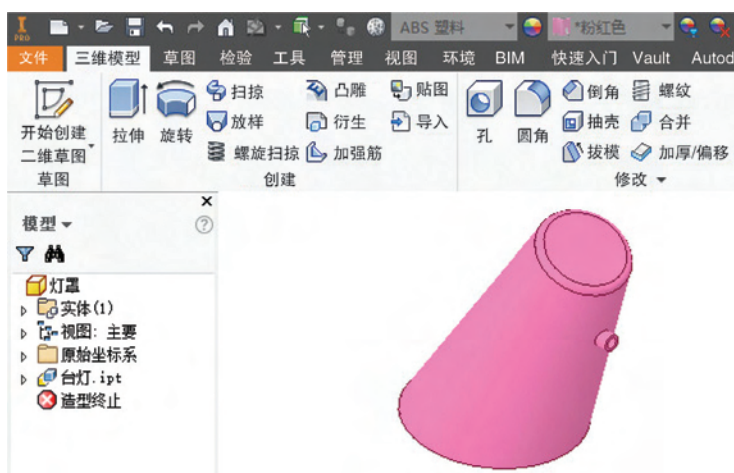


图 1.15 灯罩



图 1.16 灯杆

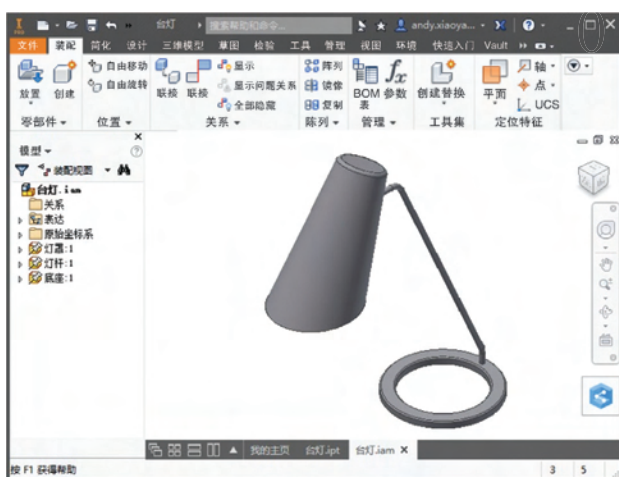


图 1.17 台灯模型建立完成



图 1.18 更改台灯模型的外观样式

至此，我们使用 Inventor 软件完成了“自下而上”的水杯模型及“自上而下”的台灯模型设计与制作。通过这两个案例可以学习 Inventor 软件的基本建模方法。



## 实践与体验

- (1) 请加强练习 Inventor 软件的操作及建模方法。
- (2) 体验台灯的建模过程，学习“自上而下”的建模思路与方法。

## 第三节 Inventor 建模方法与工具



### 学习目标

1. 学会应用 Inventor 软件将设计方案转换成三维数字立体模型。
2. 进一步理解“自下而上”与“自上而下”两种建模思路。

### 一、Inventor 建模方法

要初步掌握上节介绍的“自下而上”（水杯）与“自上而下”（台灯）的两种建模方法，必须从比较复杂的建模过程中提炼出这两种方法的逻辑关系。图 1.19 总结了这两种建模方法的逻辑关系与建模过程。



图 1.19 水杯与台灯模型的建立过程





**小贴士**

“自下而上”的建模方法可在相互独立的环境中分别创建产品各零件的模型，而“自上而下”的建模方法则是在同一环境中创建产品各零件模型，后者更便于利用零件之间的关联开展设计。

同学们可尝试修改台灯（图 1.14 左上图）基础零件“台灯 .ipt”中灯罩部分灯杆连接孔的尺寸，并观察灯杆与灯座发生的变化。另请注意，零件“台灯 .ipt”是生成台灯零部件模型的基础，该零件不可删除，否则将造成生成的台灯零部件文件信息丢失。

通过这两个案例，我们发现无论采用“自下而上”还是“自上而下”的建模方法，都需要借助绘制草图与添加特征来完成。以水杯零件“杯盖”为例，建模过程如图 1.20 所示。

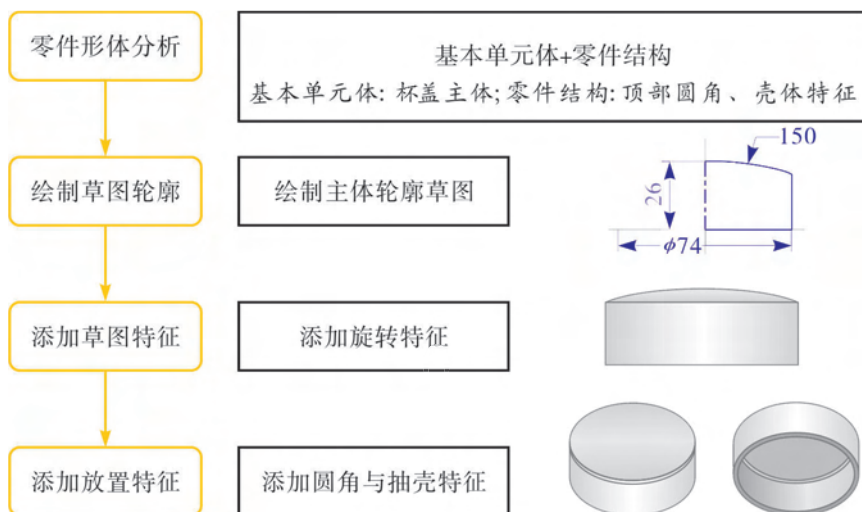


图 1.20 杯盖建模过程

创建草图与添加特征是建立产品模型的一般过程，通常先通过“草图特征”创建零件模型基本单元体，再通过“放置特征”创建零件结构，有时还需借助“定位特征”辅助（如台灯建模过程中，通过工作面创建灯罩上的灯杆连接结构）。“草图特征”需借助草图轮廓建立，“放置特征”可通过编辑现有实体来完成。Inventor 特征的分类与作用如表 1.2 所示。

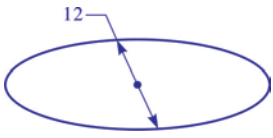

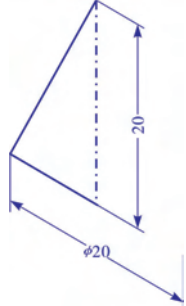

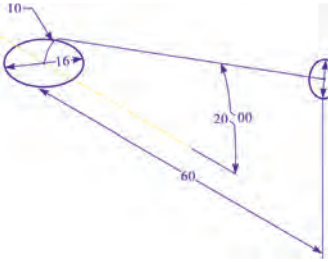
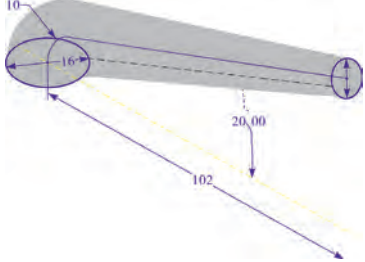


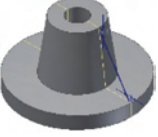
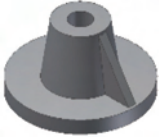
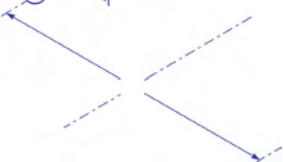

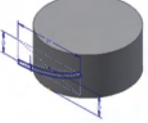

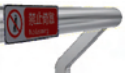



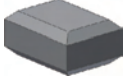
表 1.2 Inventor 特征的分类与作用

草图特征	放置特征	定位特征
需要借助草图添加，一般来说一个特征对应一个草图	无需草图，可在现有实体中直接创建（孔特征也可借助草图定位）	定位、辅助作用，服务于其他特征创建

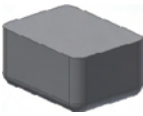
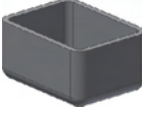

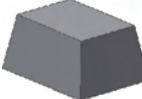
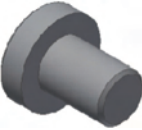
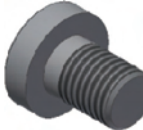
## 二、Inventor 建模工具

上述特征中的部分工具已在水杯与台灯的建模过程中有所应用，现将草图特征与放置特征中常用工具的作用总结如下，如表 1.3 所示。

表 1.3 常用建模工具

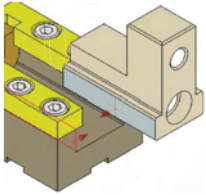
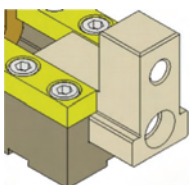
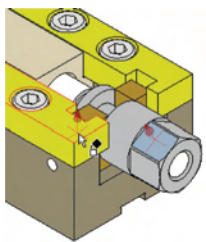
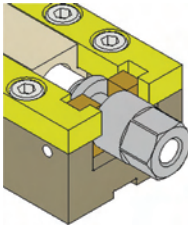
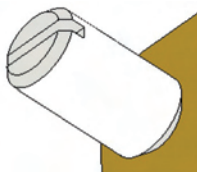
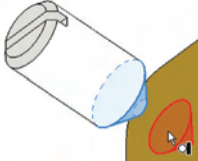
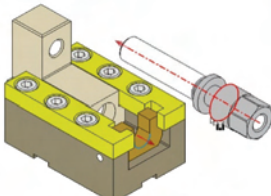
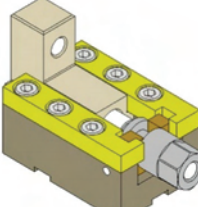
类别	名称	作用	应用举例	
			应用前	应用后
草图特征	拉伸	沿垂直于草图的方向创建实体或曲面		
	旋转	使轮廓绕某一轴线转动, 生成回转实体或曲面		
	放样	两个或以上的截面轮廓间根据指定的路径与条件创建实体或曲面		
	扫掠	选定的截面轮廓沿指定的路径移动生成实体或曲面		
	加强筋	通过加强筋骨架草图快速创建网状加强筋、肋板式加强筋		
	螺旋扫掠	以螺旋线为路径的扫掠特征		
	凸雕	草图截面轮廓指定厚度后以凸或凹的方式缠绕或投影至零件的表面		
	贴图	将草图中的图像缠绕或投影在实体的表面		
	放置特征	孔	在现有实体上创建孔	
圆角 / 倒角		在实体棱边位置添加圆角或倒角		

续表

类别	名称	作用	应用举例	
			应用前	应用后
放置特征	抽壳	去除实体内部的材料, 使实体成为空腔		
	拔模	在实体表面添加斜度, 制造时方便零件从模具中取出		
	螺纹	在实体表面添加指定类型的螺纹		

若使用“自下而上”的方法创建产品模型, 创建零件模型后还需进入部件环境, 通过约束工具对零件进行装配, 将零件置于正确的位置。常用约束工具如表 1.4 所示。

表 1.4 常用约束工具

名称	作用	应用举例	
		应用前	应用后
配合	重合约束, 使选定的两零件上的点、线或平面相互重合		
角度	使选定的两零件上的线或面保持给定的角度		
相切	使选定的两零件上的回转体表面(柱面、锥面或球面)保持内切或外切关系		
插入	使两次选择的表面与轴线相重合		



### 探究与交流

- (1) 结合上节案例，练习 Inventor 基础操作。
- (2) 依照图 1.21 进行建模练习。

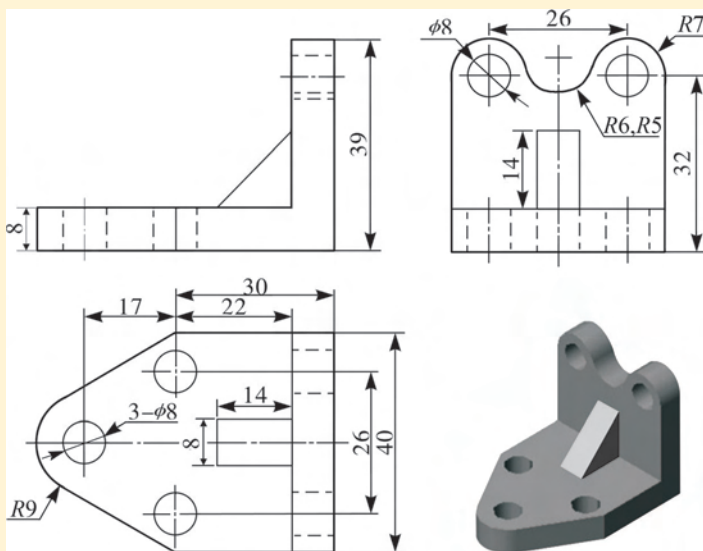


图 1.21 模型及其三视图

## 第四节 Inventor 运动模拟



### 学习目标

1. 了解 Inventor 进行运动模拟的含义与方法。
2. 了解输出运动动画的方法。
3. 实现简单运动模拟。

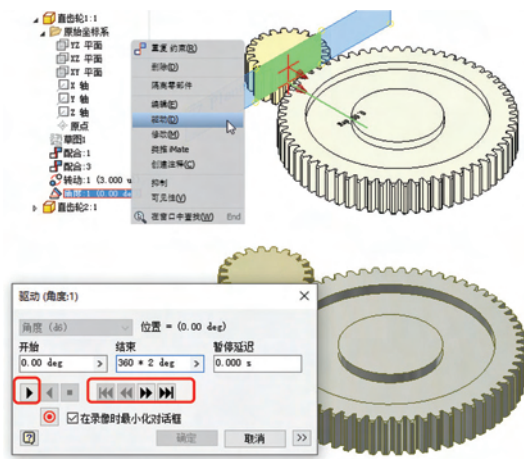
在生活中，我们常见的机械传动有齿轮传动和凸轮传动，图 1.22 所示为这两种传动装置的运动模拟。Inventor 中可以对这两种传动装置进行简单的运动模拟和运动动画输出。下面仅以齿轮传动机构为例，说明运动模拟及动画输出的方法。



图 1.22 运动模拟

01	<p>打开部件文件“齿轮机构 .iam”。此部件已对两个齿轮添加位置约束，两齿轮只能绕自身轴线转动。</p>	
02	<p>添加齿轮间的运动关系： 单击工具面板装配选项卡关系区域的“约束”按钮，进入“放置约束”对话框中“运动”选项卡，选择类型为“转动-转动”，求解方法为“反向”；在图形区通过两次单击依次选中大齿轮与小齿轮并输入传动比为 3；单击“确定”按钮添加运动关系。 此时在图形区中转动齿轮，可观察两齿轮的运动。 在“转动-转动”类型中，传动比表示当第一次选中的零件转动一周时，第二次选中的零件转动的圈数。由于大齿轮的齿数为小齿轮的 3 倍，故这里指定传动比为 3。</p>	
03	<p>若希望齿轮自动转动，并制作齿轮机构动画，还需进一步添加角度约束。 ①在浏览器中展开部件环境的原始坐标以及零件直齿轮 1 的原始坐标。 ②单击工具面板关系区域的“约束”按钮，选择“放置约束”对话框部件选项卡中的“角度”类型，再选择第一种“求解方式”——定向角度；然后通过浏览器选择部件环境原始坐标的 YZ 平面以及零件直齿轮 1 原始坐标的 YZ 平面；指定角度值为 0deg（在 Inventor 中，用 deg 表示角度）；单击“确定”按钮添加角度约束。</p>	

续表

<p>04</p>	<p>驱动约束，使齿轮运动。</p> <p>①在浏览器中选中为直齿轮原始坐标添加的角度约束，然后右击，选择菜单中的“驱动”按钮。</p> <p>②在“驱动”对话框中，在“结束”区域输入“360 *2deg”，使齿轮在 0deg 至 360 *2deg 之间运动，即旋转 2 周。单击“播放”按钮可观看动画。</p>	
<p>05</p>	<p>最后录制运动模拟动画。</p> <p>①展开“驱动”对话框，可通过调整对话框中的“增量值”调整动作快慢，此数值越大则速度越快；调整完成后点击对话框的录制按钮。</p> <p>②在“另存为”对话框中指定视频文件的名称与保存路径。</p> <p>③在“WMV 导出特性”对话框输入视频参数，如自定义网络带宽为“1500 Kbps”，图像大小为“1024 × 768”，单击“确定”按钮完成特性设置，返回“驱动”对话框。</p> <p>④单击“播放”按钮，待播放完成后单击对话框“确认”按钮，完成视频录制。</p>	



### 探究与交流

- (1) 通过齿轮运动模拟案例，总结在 Inventor 中实现运动模拟的制作流程。
- (2) 结合齿轮传动的操作方法，请同学们以凸轮传动机构为例，练习运动模拟及动画输出。

## 第五节 Inventor 的设计表达



### 学习目标

1. 了解三维设计软件 Inventor 的设计表达类型。
2. 学会渲染、输出三维产品效果图及动画。
3. 能够按照要求转换并输出模型数据。

用三维设计软件完成产品的建模与运动模拟后，接下来我们以合适的形式输出表达出来，也就是设计表达。三维设计软件的设计表达包括表达视图与渲染输出两部分。

### 一、表达视图

表达视图即产品装拆过程模拟，可用于制作产品装拆动画。下面将再次以台灯为例，介绍使用 Inventor 创建产品表达视图的方法。

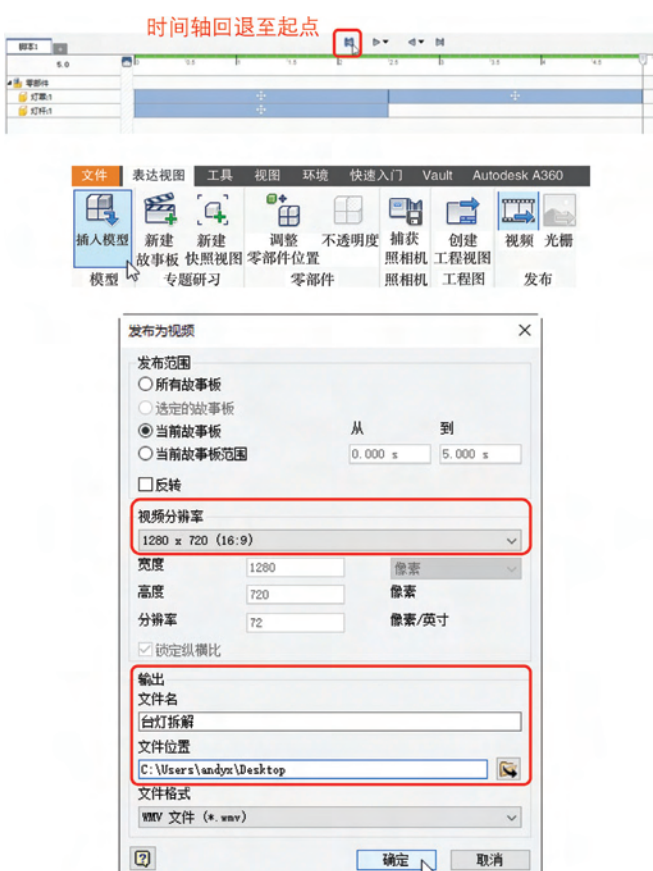
<p>01 启动 Inventor，单击工具面板“新建”按钮，使用“表达视图”模板中的“Standard.ipn”创建文件。</p>	
--	--

续表

<p>02</p>	<p>单击工具面板“插入模型”按钮，通过“插入”对话框选择部件文件“台灯 .iam”，单击“打开”按钮将台灯载入表达视图环境。</p>	
<p>03</p>	<p>对零部件进行拆解操作，首先要将灯罩连同灯杆由底座移出。</p> <p>①单击工具面板“调整零部件位置”按钮，按下“Ctrl”键的同时在图形区单击选中灯罩与灯杆。</p> <p>②向上拖动图形区垂直坐标轴，将灯罩与灯杆向上移动，此时可通过输入尺寸数值精确控制零部件移出距离。</p> <p>③单击“√”按钮应用此次调整相关设置参数。</p>	
<p>04</p>	<p>进一步调整灯罩位置。</p> <p>①在图形区单击选中灯罩。</p> <p>②向前拖动图形区水平坐标轴，将灯罩移出。</p> <p>③单击“√”按钮应用此次调整相关设置。</p> <p>至此完成零部件位置调整。</p>	



续表

05	<p>最后制作台灯拆解动画。</p> <p>①单击图形区下方“故事板”的“回退”按钮，将时间轴回退至起点。</p> <p>②单击工具面板发布区域的“视频”按钮。</p> <p>③打开“发布为视频”对话框；通过此对话框设置视频相关参数，如选择视频分辨率为“1280×720”，指定视频名称为“台灯拆解”并指定保存位置为桌面；单击对话框“确定”按钮发布视频。</p>	
----	---	---

通过创建台灯表达视图，可将Inventor制作表达视图流程总结如下：

第一步，装入部件。在表达视图环境中装入待拆解的部件文件。

第二步，调整位置。通过“调整零部件位置”按钮将产品各零部件拆解。

第三步，输出动画。通过“故事板”设置动画起点，并通过发布视频工具制作产品装拆动画。



### 活动延伸

尝试制作水杯模型的拆解动画。

## 二、渲染输出

渲染输出功能常用于产品展示，Inventor 可通过 Inventor Studio 模块对已完成造型的产品进行渲染，进而输出产品效果图与展示动画。这里将以台灯效果图（图 1.23）制作为例，介绍通过 Inventor Studio 模块进行产品渲染输出的基本方法。



图 1.23 台灯效果图

<p>01</p>	<p>打开部件文件“台灯.iam”。</p>	
<p>02</p>	<p>首先进行环境设置并调整观察视角。</p> <p>①将工具面板切换至“视图”选项卡，通过显示方式下拉菜单选择“透视模式”方式。</p> <p>②通过阴影下拉菜单勾选“所有阴影”以打开视图中的阴影显示。</p> <p>③通过反射下拉菜单勾选“反射”以打开地平面反射效果显示。</p> <p>④通过视图工具将台灯旋转至恰当的位置，并适当调整视图缩放比例。</p>	

续表

<p>最后渲染图像并输出。</p> <p>①将工具面板切换至“环境”选项卡并单击“<b>Inventor Studio</b>”按钮进入渲染环境。</p> <p>②单击工具面板“渲染图像”按钮打开“渲染图像”对话框；可通过该对话框更改渲染后输出图片的尺寸，如将图片尺寸调整为“1920×1080”；单击对话框“渲染”按钮进行渲染。</p> <p>③等待渲染完成后，单击渲染输出对话框“保存”按钮保存渲染图片。</p>	
--	--

通过台灯效果图渲染输出，可将Inventor制作产品效果图流程总结如下：

第一步，调整颜色样式。建立零部件模型后，调整各零部件的颜色样式。

第二步，环境设置与视角调整。通过部件环境“视图”选项卡调整显示方式，并设置阴影或反射环境；通过视图工具调整观察方向与大小。

第三步，渲染图像并输出。渲染图像并保存渲染输出的图片文件。

### 三、模型文件输出与保存

通常三维打印机或其他三维设计软件所使用的文件格式要求不同，为了满足不同要求，Inventor 模型文件输出可直接通过另存为的方式选择不同的格式进行保存，如图 1.24 所示。Inventor 默认文件格式直接选择保存即可。



图 1.24 模型数据转换与输出



### 实践与体验

- (1) 草图特征、放置特征与定位特征有怎样的区别，各适用于怎样的场合？
- (2) 使用 Inventor 模拟产品零部件运动应按照怎样的流程进行？
- (3) 表达视图起怎样的作用？使用 Inventor 创建表达视图应按照怎样的流程进行？
- (4) 效果图有什么作用？使用 Inventor 创建产品效果图应按照怎样的流程进行？
- (5) 如何将 Inventor 创建的模型文件转换成其他文件格式？



### 活动延伸

设计题目：香皂盒设计。

设计要求：设计一个能存储香皂的香皂盒。要求香皂不易被水泡，取放方便，实用美观，便于清洗。

尺寸要求：能放置80mm×45mm×18mm的香皂。

内容要求：

- (1) 使用Inventor创建香皂盒的全部零件与部件模型。
- (2) 制作香皂盒拆解动画。
- (3) 渲染香皂盒效果图。

## 本章小结

在自然、社会、技术等领域，三维产品无处不在。三维产品设计是一项创造性的劳动，分为开发性设计、适应性设计、变形设计。

产品设计的过程大致包括规划设计、方案设计、技术设计、施工（含工艺）设计及改进设计等阶段。

三维设计软件种类很多，常见的有 ZW3D 软件、Autodesk Inventor、UG、Pro/Engineer、SolidWorks 等。

重点学习使用 Autodesk Inventor 建模的方法。

## 学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		小组讨论			
	实践活动	积极参与数字模型的建立			
		多人合作建立数字模型			
		在操作中熟练掌握各种工具			
结果评价	目标实现	能否正确建立现有模型			
		能否对新模型提出问题			
	收获反思	收获感悟			
		反思不足			

# 第二章

## 三维打印原理

### 导 言

人类区别于动物的一个显著的特征是能够制造和使用工具，并不断创造出新的产品。人们在改造自然的过程中，制造技术也在不断发展着。

总的来看，制造技术大致可分为三种方式。

一是材料成形方式，也称为等材制造技术，主要是指利用模具型腔，将液体或固体材料变为所需结构的毛坯、零件或产品。锻造（图 2.1）、冲压、焊接等均属于此种方法。此技术在 3000 多年前的青铜器时代就已经开始使用。

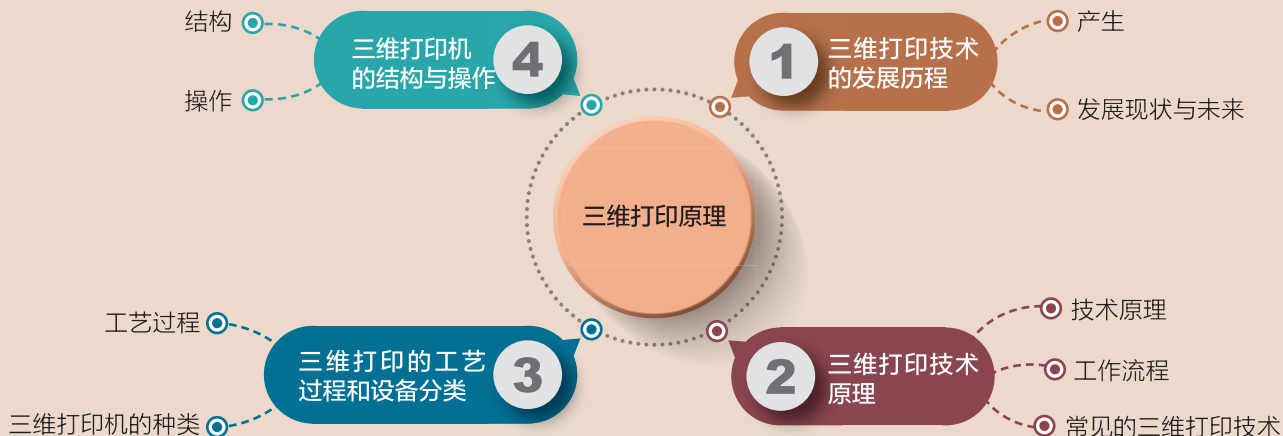
二是材料去除方式，也称为减材制造技术，一般是指利用刀具、磨具或特种加工方法，去除毛坯中不需要的材料，剩下的部分即是所需的零件或产品。我们常说的车、铣、刨、磨等工艺，均属于减材制造，此技术大概有 300 年的历史。

三是近30年发展起来的三维打印技术，也称为增材制造技术。增材制造技术是依据三维CAD设计数据，采用离散材料（液体、粉末、丝、片、板、块等）逐层累加原理制造实体零件的技术。



图 2.1 锻造工艺

### 思维导图



## 第一节 三维打印技术的发展历程



### 学习目标

1. 了解三维打印技术的产生与发展历程。
2. 感悟三维打印技术对人类的生产、生活方式产生的影响。

### 一、三维打印技术的产生

长久以来,在传统制造业中,结构复杂的产品制造难度大、开模费用高、制造时间长,种种问题促使人们去研发一种快速成型的技术。经过不断的探索和研究,人们终于实现了一次新的跨越——发明了三维打印技术。

三维打印技术是以计算机三维设计模型为蓝图,通过分层离散和数控成型系统,利用激光束、热熔喷射等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料材质、细胞组织等特殊材料逐层堆积粘接,最终叠加成型,制造出实体产品。

三维打印的思想源于19世纪末的美国。早在1892年,J. E. Blather在他的专利中,曾建议用分层制造法构成地形图。这种方法的原理是将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上,然后按轮廓线切割蜡片,并将其黏结在一起,熨平表面,从而得到三维地形图(图2.2)。

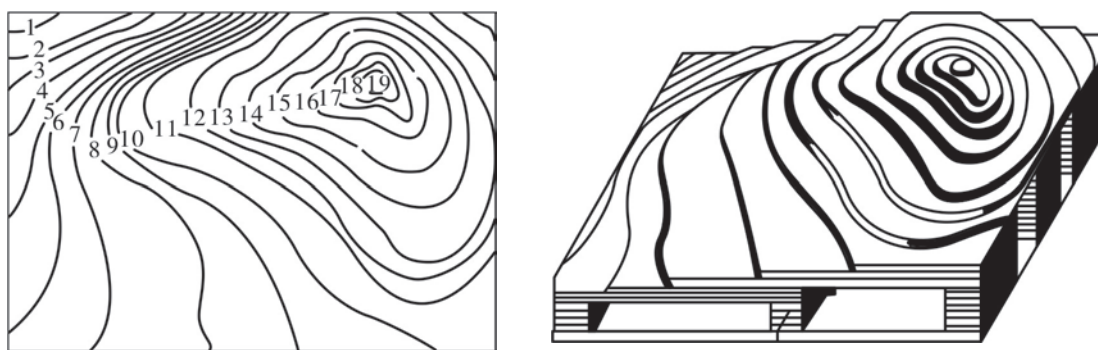


图 2.2 用分层制造法构成立体地形图

随着全球市场一体化的形成,制造业的竞争十分激烈,产品的开发速度日益成为竞争的主要矛盾。同时,制造业需要满足日益变化的用户需求,又要求制造技术有较强的灵活性,能够小批量甚至单件生产而不增加产品的成本。因此,产品开发的速度和制造技术的柔性变得十分关键。快速成形制造技术在这样的社会背景下得以迅速发展。



### 探究与交流

请利用网络搜索三维打印技术发展史上重要的技术发展历程，填写下表并阐述其产生的重要意义。

年代（时间）	重要技术	主要人物（公司）	意义及影响

## 二、三维打印技术的发展现状与未来

三维打印技术顺应了现代工业从大规模批量生产转变为小批量个性化生产，产品的生命周期越来越短，同时对产品和外观设计水平的要求越来越高的趋势。但由于技术、经济等因素限制，三维打印技术没有对现有生产模式产生质的改变。

### 1. 国际情况

三维打印设备已经从实验室和工程应用中逐步走出来，并且走进学校和家庭。三维打印的衣服和鞋子已经多次出现在全球各大秀场，三维打印技术加工的饼干和蛋糕已经成为一些家庭餐桌上的食品。从荧光笔到汽车轮胎，从人物雕像到无人机机翼，从台灯灯罩到建筑工程实物模型，从整形牙套到具有一定生理、生化功能的耳朵，从儿童在计算机上自行设计的三维怪物到先进战斗机的零配件，从个性化的黄金珠宝到美国宇航局使用的火星探测车实物模型，三维打印技术都可以实现。三维打印机就像神笔马良手中的笔，画什么有什么。

### 2. 国内情况

自 20 世纪 90 年代以来，我国众多高校在三维打印技术方面开展了积极的研究和探索。清华大学在现代成形学理论、分层实体制造、FDM 工艺等方面都有一定的科研优势；西安交通大学自主研发了三维打印机喷头，并开发了光固化成形系统及相应的成形材料，成形精度达到 0.2mm；华中科技大学在分层实体制造工艺方面有优势。目前我国已有部分技术处于世界先进水平。例如，生物细胞三维打印技术取得显著进展，可以制造立体的模拟生物组织，为我国生物、医学领域尖端科学研究提供了关键的技术支撑；创造性地制作出具有复杂微孔和梯度的缓释药片；激光直接加工金属技术发展较快，可以满足特种零部件的机械性能要求，已成功应用于航空航天装备制造。激光直接制造技术成形大型钛合金机构件具有短流程、低成本的特性，应用前景广阔，该项技术引起国内外的高度关注。





### 探究与交流

请利用网络搜索我国三维打印技术发展史上有重大影响的人物、事迹，在班内与同学进行交流，填写下表并思考影响我国三维打印技术发展的重要因素。

姓名	所在单位（研究所 / 实验室）	研究方向	主要贡献

### 3. 三维打印技术的展望

随着智能制造的进一步发展成熟，新的信息技术、控制技术、材料技术等不断被广泛应用到制造领域，三维打印技术也将被推向更高的层面。未来，三维打印技术的发展将体现出精密化、智能化、通用化及便捷化等趋势。

目前及以后一段时间，三维打印技术可能加大以下几方面的研究和应用。

（1）提升三维打印的速度、效率和精度。开拓并行打印、连续打印、大件打印、多材料打印（不仅混合材料，而且创造出全新类型的材料）的工艺方法，提高成品的表面质量、力学和物理性能，以实现直接面向产品的制造。

（2）开发更为多样的三维打印材料，如智能材料、功能梯度材料、纳米材料、非均质材料及复合材料等，金属材料直接成形技术有可能成为今后研究与应用的又一个热点。

（3）三维打印设备小型化、桌面化，成本更低廉，操作更简便，更加适应分布化生产、设计与制造一体化以及家庭日常应用的需求；软件集成化，使设计软件和生产控制软件能够无缝对接，实现设计者直接联网控制的远程在线制造。

（4）拓展三维打印技术在生物医学、建筑、车辆、服装等更多行业领域的创造性应用等。

三维打印技术在创造无限新机会的同时，也带来前所未有的问题和挑战。例如，三维打印设备和产品的质量 and 安全问题，三维打印物品的版权和知识产权纠纷问题，有的三维打印产品对公共安全和环境构成的威胁等，都需要人们去解决。

我国正处在工业转型升级的重要时期，三维打印技术的发展对我国既是重大的机遇，又是严峻的挑战。我国政府已经着手对三维打印技术进行发展战略研究并对相关产业进行布局 and 规划，期望能够把握此次制造业转型改革机遇，使我国成为三维打印产业强国。



### 阅读材料

《人民日报》曾撰文称：“三维打印新未来，天官做饭不是梦。”文章称：在中国航天员中心航天营养与食品研究实验室，摆放着一台三维食物打印机。中国航天员中心正在尝试，让航天员在天上自己“烹饪”食物。早期国外的航天食品是软管状的，每次吃饭需要像“挤牙膏”一样“挤”入口中。随着美国在航天器上成功配置冰箱，宇航员在太空的饮食跟地面的区别越来越小。

目前我国的航天食品都是加工好的“熟食”，为了减轻重量，一些食物在地面上先经过脱水处理。在太空中，航天员先对食品复水，再放入电热箱加热食用。现在市面上的紫菜蛋花汤包就是源自这种航天脱水技术。如果太空打印食物能够实现，航天员就可以带着面粉上天，通过三维打印机“打”出新鲜的馒头了。



### 活动延伸

请调查身边三维打印技术的应用，并亲自体验，感受三维打印技术对人们生活带来的影响和变化。

## 第二节 三维打印技术原理



### 学习目标

1. 了解几种常见的三维打印机的运行原理、应用领域及所受到的技术限制。
2. 认识不同原理下三维打印的工艺特点。
3. 知道获得三维打印模型数据的途径，能用图样方式表达三维打印的流程。

### 一、三维打印技术的工作流程

三维打印技术主要应用离散、堆积原理。任何产品都可以看成许多等厚度的二维平面轮廓沿某一坐标方向叠加而成。三维打印技术的成形过程是：先用CAD软件设计出所需产

品的三维模型，经过表面三角化处理，存储成STL文件，然后根据其工艺要求，将其按一定厚度进行分层切片，把原来的三维CAD模型切分成二维平面几何信息，即截面轮廓信息，再将分层后的数据进行一定的处理，加入加工参数并生成数控程序；在计算机控制下，数控系统以平面加工方式有序地连续加工，从而形成各截面轮廓并逐步叠加使他们自动粘接成立体原型，经过后续处理最终得到所需要成形的零件。三维打印技术的工作流程如图2.3所示。

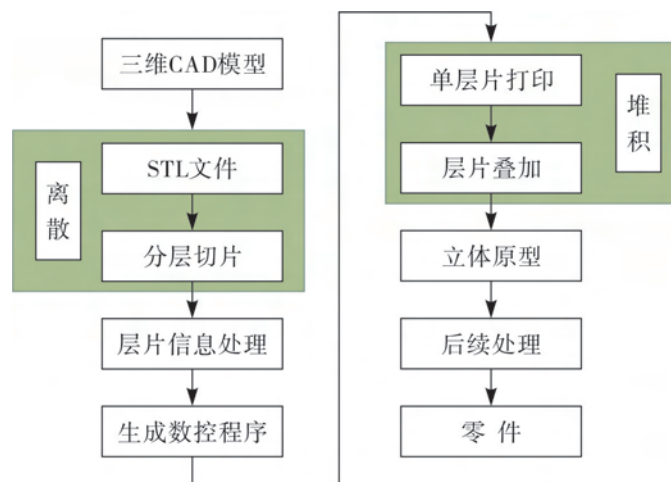


图 2.3 三维打印技术工作流程

传统的制造工艺通常需要借助昂贵的设备，并根据客户不同的需求对机器进行固定的配置后才能生产大量同质化的产品；而三维打印恰恰相反，更适合在不同的数字模型基础上构建高度定制的原型甚至产品（表2.1）。

随着三维打印技术的不断发展，利用三维打印技术生产的成本还会进一步降低。这将进一步促进三维造型生产过程更快、更有效率、更节约成本。不过，“增材”和“减材”是辩证统一的，两者相互促进，可以产生新的更大的生产力，提高研发质量，加快创新进程。

表 2.1 三维打印技术和传统制造技术之间的差异

	三维打印技术	传统的制造技术
生产速度	在构建实物之前，需要设计打印该模型需要的数字模型，打印前需要对喷头预热一段时间，打印的模型越大，花费的时间越长。适合生产小型商品，或定制商品，或者具有较高价值的商品	需要花费大量时间和资源配置机器，但在配置完成后，生成每一件商品的效率会有所提高，适合批量生产商品
生产花费	前期投入较低，但生产实物单位成本较高且固定。产品生产对设计人员要求较高，对操作人员要求较低	前期投入较高，但生产实物单位成本相对较低。产品生产要求技术熟练的工人来配置和操作机器
生产适应性	结构复杂或者空心的实物构建过程和普通模型过程相同。模型的数字文件可以被修改或调整，以便生产能对消费者需求的变化做出快速反应。目前三维打印技术仍处在发展的初期阶段，可用来打印的原料十分有限	很难生产类似中空的复杂结构，且在生产已经确定的情况下改变产品设计会付出极大的代价。但是，整体的生产技术水平相对较高，生产原料几乎没有限制

## 二、几种常见的三维打印技术

### 1. 熔融沉积成型工艺 (Fused Deposition Modeling, FDM)

熔融沉积成型工艺是普及最广的三维打印技术，主要使用ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯）、PLA（聚乳酸）等为材料，其工作原理是将ABS、PLA等材料通过加热融化，再凝固成型（图2.4）。材料通过挤出机构被送进热熔喷头，在喷头内被加热融化，再根据控制系统，让喷头沿零件截面轮廓做填充轨迹运动，同时将半熔融状态的材料按软件分层数据控制的路径挤出并沉积在指定的位置，并与周围的材料黏结，层层堆积凝固成型。

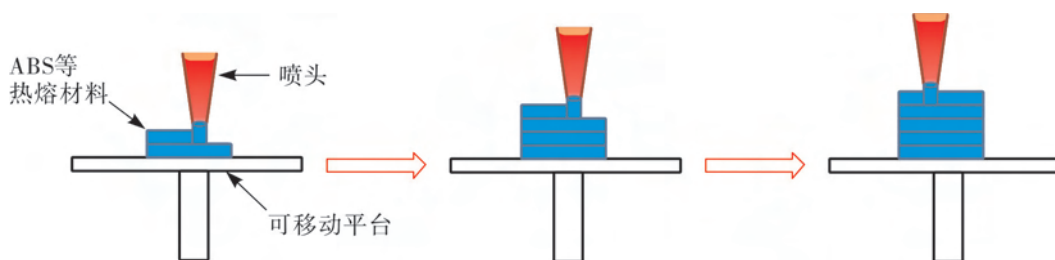


图 2.4 熔融沉积成型工艺

在三维打印技术中，FDM的机械结构最简单，设计也最容易，制造成本、维护成本和材料成本也最低，因此桌面级三维打印机使用最多的技术是FDM。FDM工艺的成品精度通常为0.2~0.3mm，高端机型能够达到0.1mm，较多应用在建筑、艺术、工业设计、玩具等模型制作领域。如图2.5、图2.6所示分别为FDM技术打印的机器人和奖杯。



图 2.5 FDM 技术打印的机器人



图 2.6 FDM 技术打印的奖杯

### 2. 光固化成型工艺 (Stereo Lithography Apparatus, SLA)

光固化成型工艺是最早的三维打印技术。主要使用液态的光敏树脂作为材料，这种液态材料在一定波长的紫外线照射下能迅速地发生聚合反应，从液态转变为固态。图2.7所示为此技术的原理图。激光器通过扫描系统照射光敏树脂，当一层树脂固化完毕后，可将工作平台下移一个层厚的距离，刮板将树脂液面刮平，然后再进行下一层的激光扫描固化，如此循环往复最终得到完整的产品（图2.8）。

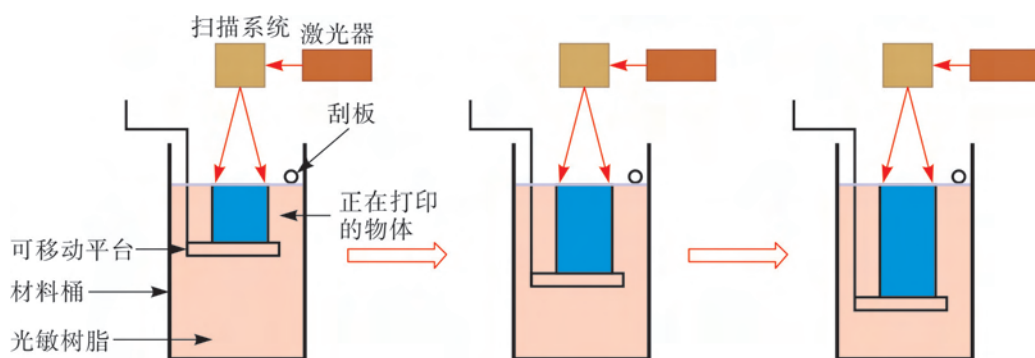


图 2.7 光固化成型工艺

光固化成型工艺在三维打印技术中精度最高，表面也最光滑。但是光固化快速成型工艺也有所不足，首先光敏树脂原料有一定的毒性，操作人员使用时需要注意防护；其次强度方面尚不能与真正的制成品相比，主要用于原型设计验证方面；三是成型尺寸有较大的限制，不适合制作体积庞大的工件；四是设备成本（低端的几万，高端的几十万）、维护成本和材料成本都远远高于熔融沉积成型工艺。光固化成型工艺多应用于航空航天、工业制造、生物医学、大众消费、艺术等领域的精密复杂结构零件的快速制作，精度可达0.05mm，已接近传统模具的工艺水平。



图 2.8 SLA 技术打印的零件

### 3. 三维粉末黏合成型工艺 (Three Dimensional Printing and Gluing, 3DP)

三维粉末黏合成型工艺使用石膏粉末、陶瓷粉末、塑料粉末等作为材料，是实现全彩打印最好的工艺。其原理是先铺一层粉末，然后使用喷头将黏合剂（胶水）喷在需要成型的区域，让材料粉末粘接，形成一层截面，然后不断重复铺粉、喷涂、粘接的过程，层层叠加，最终获得打印出来的零件（图2.9）。

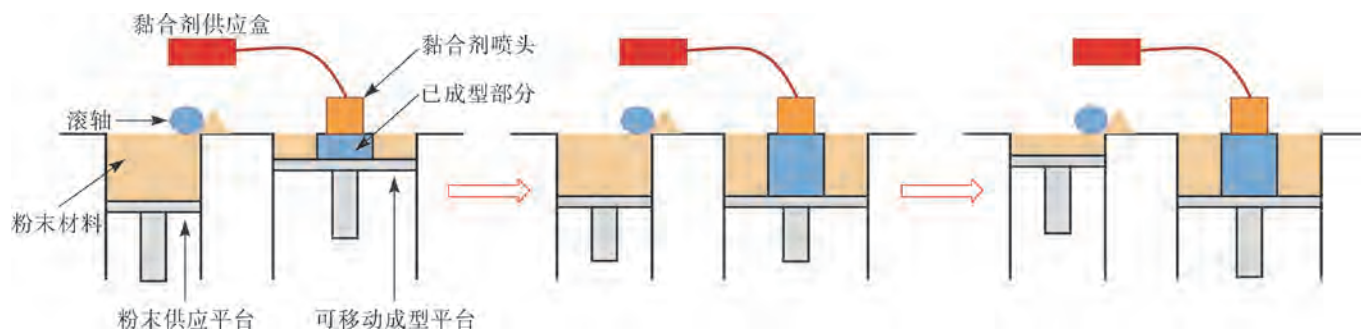


图 2.9 三维粉末黏合成型工艺

3DP技术的优势在于成型速度快、无需支撑结构，而且能打印全彩色产品（胶水的颜色为彩色），这是其他技术都难以实现的。图2.10、图2.11分别为3DP技术打印的全彩人像与汽车组件。

但是3DP技术也有不足，首先粉末黏合的直接成品强度不高，只能作为测试原型。其次由于粉末黏合的工作原理，成品表面不如SLA制品光洁，精细度不足。此外，由于制造相关材料粉末的技术比较复杂，成本较高，应用不够广泛。



图 2.10 3DP 技术打印的全彩人像



图 2.11 3DP 技术打印的全彩汽车组件

#### 4. 选择性激光烧结成型工艺 (Selecting Laser Sintering, SLS)

选择性激光烧结成型工艺是最高端的三维打印技术，主要以金属粉末等作为材料。其原理是使用激光烧结粉末材料，使粉末材料结合成型（图 2.12）。SLS 技术同样也是使用层叠堆积成型，不同的是它首先铺一层粉末材料，将材料预热到接近熔点，再使用激光在该层截面上扫描，使粉末温度升至熔点，然后烧结，接着不断重复铺粉、烧结的过程，直至完成整个模型成型。

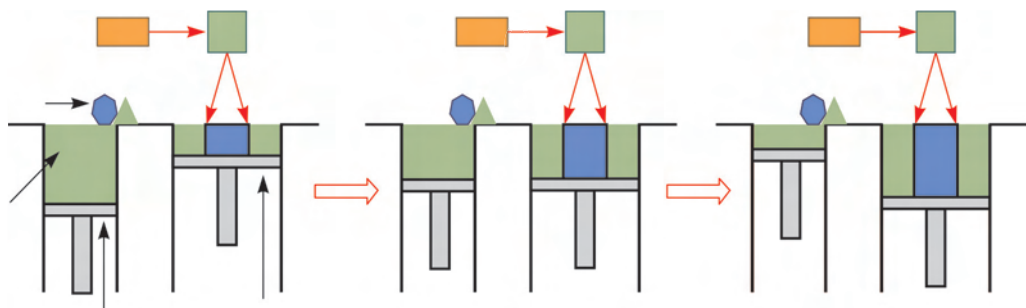


图 2.12 选择性激光烧结成型工艺

选择性激光烧结工艺可以使用非常多的粉末材料，除金属外，还有石蜡、聚碳酸酯、尼龙、纤细尼龙、合成尼龙、陶瓷等，并制成相应材质的成品。激光烧结的成品精度好、强度高，但是最主要的优势还是在于金属成品的制作。激光烧结可以直接烧结，也可以间接烧结金属零件，最终成品的强度远远优于其他三维打印技术。它在精密制造行业的应用前景非常广阔，例如飞机的某些零部件已经逐步使用三维打印技术来生产。



图 2.13 SLS 技术打印的零件

激光烧结技术也同样存在缺陷。首先粉末烧结的表面粗糙，需要后期处理；其次使用大功率激光器，除了本身的设备成本（国产低端的几十万，高端的几百万），还需要很多辅助保护工艺，整体技术难度较大，制造和维护成本非常高，普通用户无法承受，所以应用范围主要集中在高端制造领域。如图 2.13 所示为 SLS 技术打印的零件。

随着时代的进步，各项三维打印技术都在不断地改进与发展，未来三维打印技术将越来越多地走进人们的生活，改变人们的生活方式，让我们共同期待这一天的到来。



### 活动延伸

- (1) 查阅资料，学会辨别 ABS 材料与 PLA 材料。
- (2) 进一步查阅资料，列表比较上述几种三维打印技术原理的异同。

## 第三节 三维打印的工艺过程和设备分类



### 学习目标

1. 了解三维打印的工艺过程。
2. 认识三维打印技术在产品设计与制造中的重要作用。

### 一、三维打印的工艺过程

三维打印的工艺过程可以归纳为产品的前处理（三维模型的构建、三维模型的近似处理、三维模型的切片处理）、分层叠层成形和产品的后处理三个阶段。

#### 1. 产品的前处理

(1) 三维模型的构建。由于快速生产系统（RP）由产品的三维模型直接数字化驱动，因此首先需要建立产品的三维模型，然后才能进行切片处理。建立产品三维模型的方法主要有两种，一是应用 CAD 软件，根据产品的要求设计三维模型，或将已有产品的工程图转换为三维模型；二是对已有的产品实体进行三维坐标测量、激光扫描或 CT 断层扫描得到其点云数据，基于反求工程（逆向工程）实现三维 CAD 模型的构建（图 2.14）。

(2) 三维模型的近似处理。由于产品上往往有一些不规则的自由曲面，因此成型前必须对其进行近似处理，以方便后续的数据处理。为了提高三维打印机对 CAD 模型的精确识别和打印，STL 文件格式被研发出来。该文件格式将 CAD 模型进行三角化处理，将三维物体用许多散乱无序的三角形小平面来表示，如今它已成为三维打印的通用格式。STL 格式文件是三维打印领域的标准接口文件，它是用一系列小三角形平面来逼近自由曲面，



图 2.14 三维模型扫描的过程

每一个三角形用 3 个顶点坐标和 1 个法向量来描述,三角形的大小可以根据精度进行选择,如图 2.15 所示。

(3) 三维模型的切片处理。三维打印对模型进行叠层成形,成形前必须根据加工模型的特征选择合理的成形方向,沿成形高度方向以一定的间隔进行切片处理,以便提取截面的轮廓。间隔的大小根据被成形件的精度和生产率进行选定。

应用专业的切片处理软件,能自动提取模型的截面轮廓。

### 2. 分层叠层成形

根据切片处理得到的截面轮廓,在计算机的控制下,三维打印系统中的成形头(激光头或喷头)在 XY 平面内将自动按截面轮廓信息做扫描运动,得到各层截面轮廓。每一层截面轮廓成形后,三维打印系统将下一层材料送至成形的轮廓面上,然后进行更新一层截面轮廓的成形,如此循环往复,从而将一层层的截面轮廓逐步叠合在一起,并将各层相粘接,最终得到原型产品,如图 2.16 所示。

### 3. 产品的后处理

三维打印机由于材料及打印精度的不同要求,一般还需要对打印出来的作品进行简单的后期处理,如去除打印物体的支撑。如果打印精度不够,则会有很多毛边,或者出现一些多余的棱角,影响打印效果。

对于常见的熔融沉积型三维打印机,一般需要以下几个步骤完成后期处理:

- (1) 用铲子把产品从底板上取下。
- (2) 用偏口钳去除支撑。

(3) 进行细部修正。当打印精度不高时,打印出来的物体在细节上可能与期望的有所偏差,需要使用工具进行修正。一般使用三维打印专用笔刀进行毛刺和毛边的修正。

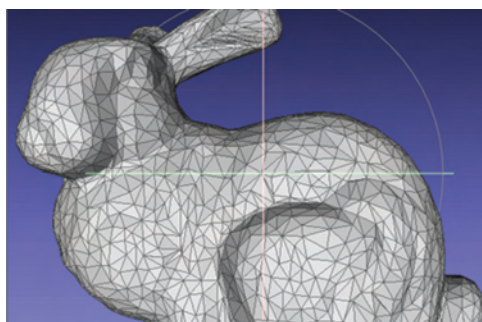


图 2.15 STL 格式文件

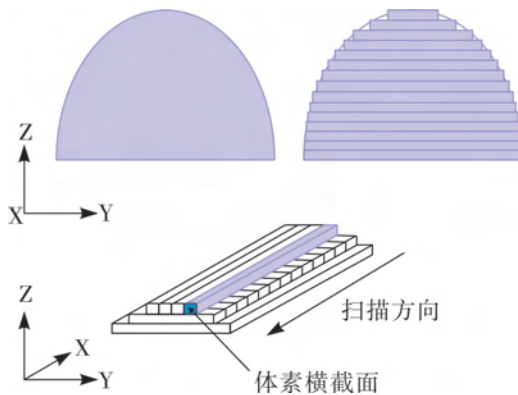


图 2.16 对模型进行叠层成形





### 小贴士

使用笔刀时要多加小心，防止划伤手指。可先用剪刀剪去较长的毛刺，然后再用笔刀进行细致修正。

(4) 抛光。一般打印出来的物体表面都不太光滑明亮，需要采用物理或化学手段进行抛光处理。

(5) 上色。如果是用单色打印机打印的物品，可以通过上色来改变物品的颜色，或让物体颜色更多样化。

上述后期处理步骤，操作者可以根据打印物体的实际应用需求采取相应措施。

## 二、三维打印机的种类

市场上的三维打印机种类繁多，可以简单分类如下。

### 1. 按照打印尺度的大小分类

按照打印尺度的大小可以将三维打印机分为工业级三维打印机和桌面级三维打印机。工业级三维打印机一般比较大，主要用于工业产品的制造，如打印一些零部件和模具。根据工艺要求的不同，使用的材料也不同。桌面级三维打印机一般比较小，就像普通的打印机一样可以直接放置在桌面上打印物体。这种打印机基本上采用的都是 FDM 工艺技术，更多地用于日常生活或教学培训中，如打印一些小零件或者小玩具。同时，这种打印机因为其简单轻便的优势也很受设计师的欢迎，设计师可以验证自己的设计是否可行。图 2.17 所示为工业级三维打印机，图 2.18 所示为桌面级三维打印机。



图 2.17 工业级三维打印机



图 2.18 桌面级三维打印机

### 2. 按照打印机的成型原理分类

按照打印机所使用的成型原理不同，可以将三维打印机分为熔融沉积成型打印机、光固化成型打印机、选择性激光烧结成型打印机、三维粉末黏合成型打印机等，详细原理可以参考本章第二节内容。

### 3. 按照打印物体的颜色分类

有些打印机只能支持一种颜色的物体的打印，称为单色三维打印机；有些打印机可以

支持很多种颜色的打印，如支持两种颜色的打印机称为双色三维打印机；支持彩色打印的打印机称为全彩三维打印机。目前只有3DP技术的打印机是支持全彩的。

#### 4. 按照打印喷头的数量分类

根据 FDM 打印机的打印喷头数量可以将三维打印机分为单头打印机、双头打印机和多头打印机。这是相对于 FDM 工艺种类来进行分类的，因为 FDM 打印机是使用喷头将打印材料的丝从喷头挤出并层层堆叠的。目前单头打印机比较多，因为单头打印的物体精度更高一些。虽然双头打印机起步较晚，但是最近已经开始普及。

#### 5. 按照材料薄层结合的方式不同分类

按照三维打印机打印时材料的薄层结合的方式不同，可以将三维打印机分为喷墨三维打印机、粉剂三维打印机和生物三维打印机。

(1) 喷墨三维打印机。喷墨打印机有两种工作方式。一种方式是利用喷墨头在一个托盘上喷出超薄的液体塑料层，并经过紫外线照射凝固。接着托盘略微降低，在原有薄层的基础上添加新的薄层。另一种方式是在一个（打印）机头里面将塑料融化，然后喷出丝状材料，从而构成一层层的薄层。

(2) 粉剂三维打印机。大多数工业三维打印机利用粉剂作为打印材料。这些粉剂在托盘上被分布成一层薄层，然后通过喷出的液体黏结剂凝固。在一个被称为激光烧结的处理程序中，通过激光的作用，这些粉剂可以熔融成设定的样式。现在能够用于三维打印的材料范围非常广泛，塑料、金属、陶瓷及橡胶等材料都可以用于打印。有些机器还可以把各种材料结合在一起。

(3) 生物三维打印机。生物三维打印机是使用三维打印机去复制一些简单的生命体组织，如皮肤、肌肉及血管等。在将来的某一天，大的人体组织（如肾脏、肝脏甚至心脏）也可能进行打印。如果生物打印机能够使用病人自己的干细胞进行打印，那么在进行器官移植后，其身体就不会对打印出来的器官产生排斥。

三维打印机还有很多种分类，如按照应用领域的不同，可以分为工业级三维打印机、人像三维打印机、饰品三维打印机、生物三维打印机等；按照打印的精度不同，可以分为个人三维打印机和专业三维打印机等。其实了解一个三维打印机，主要就是要关注打印机的应用技术、耗材（类别和颜色）、成型尺寸、精度、应用领域等这几个会影响到打印效果的因素。



#### 活动延伸

(1) 有条件的学校，教师可以组织学生参观三维打印生产厂家或者科研单位，了解不同三维打印机的工艺特点。

(2) 专题研讨活动：请分析目前影响三维打印产业发展的主要因素有哪些。

## 第四节 三维打印机的结构与操作



### 学习目标

1. 了解常见三维打印机的结构组成。
2. 理解三维打印机的工作原理。

### 一、三维打印机的结构

市面上常见的三维打印机如图 2.19 所示，它们不同之处在于喷头与面板之间的相对运动不同。图 2.19a 中的结构，面板只能在竖直 Z 方向上运动，喷头在水平平面内 XY 方向上运动；图 2.19b 中的结构，面板除了在竖直 Z 方向上运动之外，还可以在水平 X 方向上运动，而喷头只能在水平 Y 方向上运动；图 2.19c 中结构的喷头与支撑框架之间的连接结构是一种并联机构，面板不动，喷头可以到达一定空间范围内的任意一点。

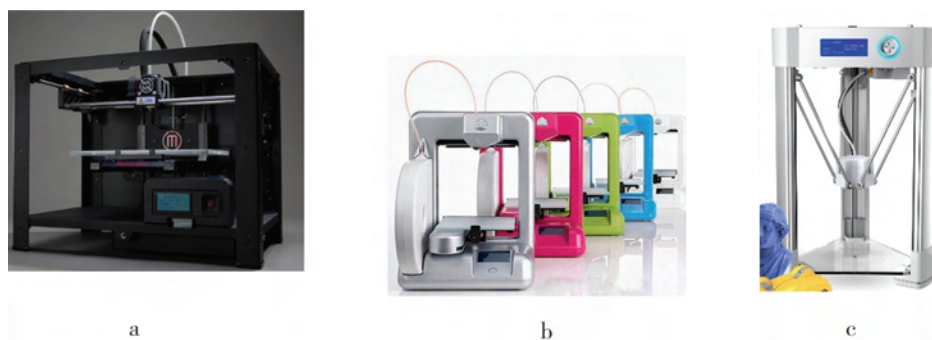


图 2.19 市面上常见三维打印机的几种结构

#### 1. 支撑框架

支撑框架为三维打印机的其他零件或局部结构提供安装空间和安装位置，也为三维打印提供工作空间，三维打印机制作物件的最大尺寸由支撑框架的尺寸决定。

支撑框架上需要安装大量的零部件，并为传动结构提供静态参考。因此其材质自身的抗变形能力、受温度影响的特性都关系到整台机器的加工精度。金属材料与木质材料相比，前者在性能上有明显优势，后者在成本上占有优势。

支撑框架的外形并不唯一，甚至可以说多种多样，只要满足其他零部件的安装需求，并保证打印有合适的工作空间就可以了。立方体或长方体的框架结构比较常见，也有门式结构的框架。

#### 2. 传动结构

写字时，手的作用是将笔移动到纸上的某个位置。注意，这个情形的前提是纸静止不

动。但运动总是相对的，如果拿笔的手静止不动，另一只手向相反的方向移动纸，也可以写出所需要的字。所以三维打印机所需要的每一种运动都可以有两种实现方式，即相对运动的两个部件中固定一个，另一个做相反方向的运动。

那么一台三维打印机的喷头和面板之间需要几个相对运动才能胜任三维打印的工作呢？

要将材料放置到三维空间中的任意一点就需要喷头与面板之间必须具有三个相对独立的运动。利用数学中坐标系的知识，直角坐标系中定义一个点需要三个长度的值，柱坐标系中定义一个点需要一个角度和两个长度，球坐标系中定义一个点需要一个长度和两个角度。FDM 打印机的原理就是将坐标系中的一个参数进行固定从而确定一个平面，根据另外两个参数完成所定义平面上的材料的放置后，固定的参数以材料厚度为单位进行递增确定另一个平面，再继续放置材料。如此反复，直至完成三维打印作品。

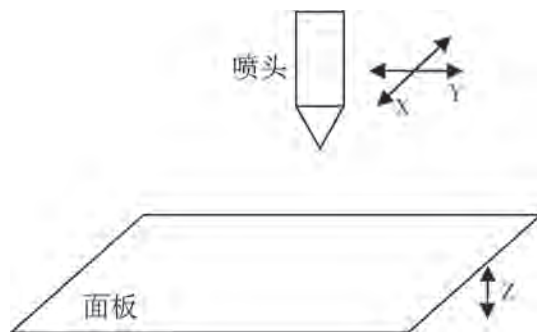


图 2.20 喷头与面板之间的相对运动

市面上比较常见的三维打印机常常采用直角坐标系来寻找所需放置材料的点，并且将 Z 坐标作为确定平面的参数，XY 平面作为打印平面。喷头与面板之间的相对运动为 XYZ 三个方向上的相对移动。由于喷头比较小，XY 平面内两个方向上的独立移动均是面板不动而喷头移动，Z 方向上的移动是喷头不动而面板移动，如图 2.20 所示。

工程中的动力一般来源于电动机。电动机的种类很多，一般精度要求较高且没有反馈的情况下选用步进电动机。将步进电动机的转动转换成所需要的移动方式有多种，如图 2.21 所示的丝杠与面板；图 2.22 所示的同步带与同步带轮，链与链轮，皮带与皮带轮，曲柄滑块结构等。

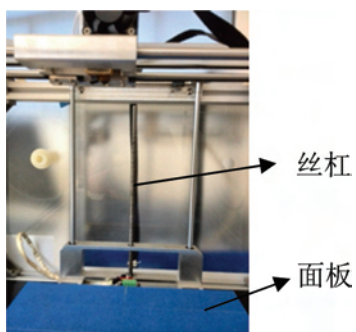


图 2.21 丝杠与面板



图 2.22 同步带与同步带轮

### 3. 喷头

喷头部分作为三维打印机的重要组成部分，具有将耗材熔化、挤出等功能。喷头部分由导管固定块、十字滑块、特氟龙夹板、特氟龙垫片、PEEK 固定块、PEEK 喷头固定块、喷头加热棒、温度检测棒、风扇组等组成，如图 2.23 所示。

打印机工作时，在电路的控制下，加热棒通过温度检测棒反馈的温度信号对喷头温度进行控制和调节，一般工作温度为180~220℃，并通过喷头固定块向喷头传输热量。

十字滑块通过十字交叉轴与XY轴的连接，带动喷头整体运动，实现打印功能。材料在喷头内受热成熔融状态后连续流出。为保证熔融状态材料流动顺畅，在喷头内插入特氟龙管。为避免环境对喷头温度的影响，常用耐高温胶带、聚四氟乙烯等耐高温材料将喷头固定块包住，减小热量的散发。由于喷头温度较高，为避免材料在未进入喷头部分时就已融化，使用PEEK和特氟龙垫片隔热。



图 2.23 喷头

#### 4. 材料

FDM原理的三维打印机，其材料一般是热塑性材料，如蜡、ABS、PLA、PVA（聚乙烯醇）、尼龙（聚酰胺）等，以丝状材料为主。图2.24所示为各种颜色的三维打印耗材。

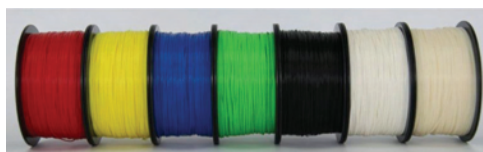


图 2.24 各种颜色的三维打印耗材

ABS可以说是FDM最常用的打印材料，目前有多种颜色可以选择，是三维打印机用户最喜爱的打印材料，比如打印玩具、创意家居饰件等。在房间周围转一圈，你会发现很多产品都是用ABS制成的，包括孩子的玩具、运动器材，甚至餐桌等。如今，大部分的汽车内饰也是ABS制成的。

PLA是聚乳酸的缩写，由植物淀粉制成。由于它是生物材料，可以在合适的堆肥箱或设施中分解，因此PLA是一种更环保的材料。PLA一般情况下不需要加热床，这一点不像ABS，所以PLA容易使用，而且更加适合低端的三维打印机。PLA不仅有多重颜色可以选择，而且还有半透明的红、蓝、绿及全透明的材料。

#### 5. 面板

三维打印机在工作时，需要确保喷头移动过程中始终与面板保持相同的距离。由于面板是一个平面，而且面板或多或少会存在一定的变形，因此如何调节面板水平是制作三维打印机必须考虑和解决的问题。

解决面板的水平问题一般采取的方法是用弹簧和螺栓连接面板和面板支架。所需连接点的个数应大于等于3。

如图2.25所示，首先保持所有弹簧处于受压状态，移动喷头到平面上设定的几个参考点，用参考物（例如一张名片）检测喷头到各个参考点的距离是否合适，如果需要面板向上一一点就拧松螺母，在压紧弹簧向外的弹力下，面板会稍微向上一一点，反之可以拧紧螺母。



#### 活动延伸

你有什么方法可以使打印实物与置物面板之间在打印时粘接牢固，在取物时又容易分离吗？

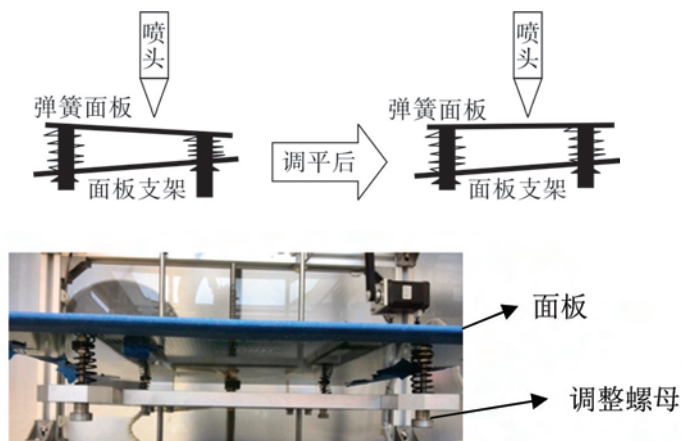


图 2.25 面板的水平调整

### 6. 控制系统

FDM 原理的三维打印机在每层中按照数据给出的轨迹进行喷料，层与层之间粘接起来后就完成了打印任务。

智能计算机发展到现在，控制几个电动机按照预定的轨迹运动已经不是什么难事。关键是数据是从哪里来的呢？常见的有建模和扫描两种途径，请参考本书第一章第三节的介绍。

控制系统除了控制电动机精准地运动外，还需要了解喷头的温度当前是多少，送来的数据有没有超过工作空间的最大值等问题，控制系统的框图如图 2.26 所示。

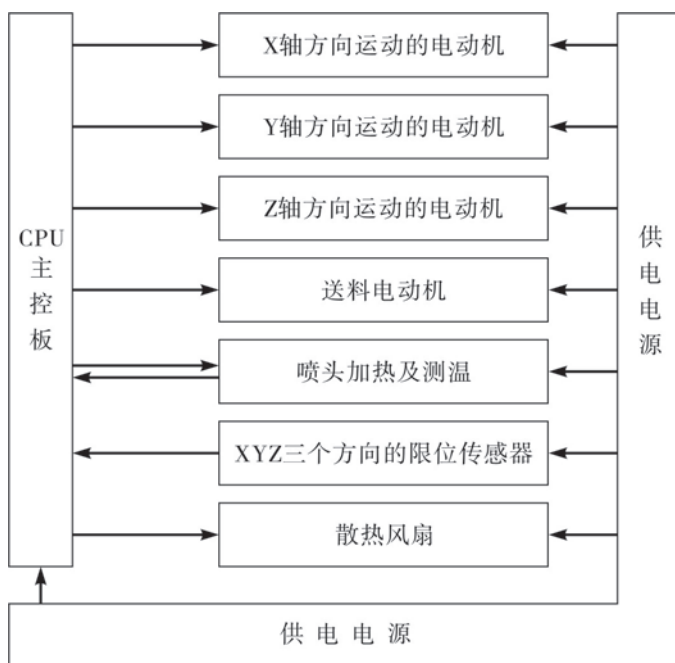


图 2.26 控制系统框图

## 二、三维打印机的操作

教室、家庭中常见的三维打印机属于熔融沉积成型打印机，简称 FDM 三维打印机。其工作原理相对其他三维打印技术更为简单，操作便捷，打印材料种类丰富且价格适中，是目前市面上使用最为广泛的三维打印设备。

### 1. 准备阶段

三维打印机最佳工作环境是 20 ~ 30℃，使用时需将设备放置于水平稳定的工作台上，并为设备四周保留至少 30cm 的操作空间，插入电源及 SD 卡。

常见的三维打印机拥有打印平台、打印头、操作面板等结构（图 2.27）。其中打印平台由热床和打印托板组成，打印头由电机、齿轮、轴承、喷头等结构组成。

FDM 三维打印机的基础操作主要分为打印平台调平、预热、换料、文件打印、打印控制、模型获取六种。操作主界面如图 2.28 所示。

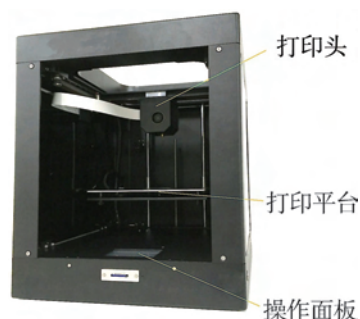


图 2.27 三维打印机



图 2.28 FDM 三维打印机主界面

### 2. 打印平台调平

三维打印是采用分层打印、逐层叠加的形式，将模型从数据转化成实体的技术。打印机根据文件中打印模型每层的二维拓扑结构执行打印操作，因此模型每一层的打印状态都将对模型最终成型效果产生重要的影响。为了得到最佳的打印效果，在初次打印之前，我们须进行调平操作，确保打印平台处于水平状态，同时与打印机喷头之间保留恰当的距离。

打印调平的过程可归纳为三个步骤：清理打印机喷头下方余料、调整 XY 平面水平状态、调整 Z 轴垂直方向与打印机喷头间距。

观察打印平台，可以看到打印平台由三组旋钮结构固定在打印托板上，通过调节旋钮，控制弹簧张紧程度，进而调整打印平台水平状态。

首先清理打印机喷头下方余料，避免余料干扰，如图 2.29 所示。点击操作面板进入调平程序，通过程序控制，以旋钮上方三组固定点为基点，使打印头依次移动到三个点位，旋转旋钮进行调节。由于打印机喷头此时仅在 XY 水平方向运动，水平高度保持不变，因此通过设定喷头与打印平台间距离为定值  $L$ ，确保平台水平（图 2.30）。

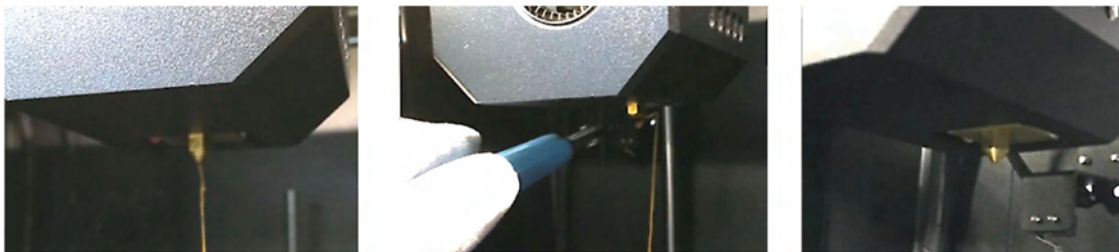


图 2.29 余料清理

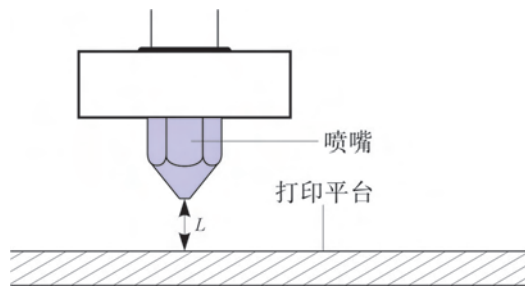


图 2.30 调平界面

通常情况下,  $L \in [0.08, 0.21]$  (单位: mm), 为1~3张A4纸的厚度,  $L$ 值过大或过小都会影响打印质量; 若 $L \leq 0$ , 则打印时会直接损伤打印平台。单次调平过程中 $L$ 值需保持一致, 但根据不同模型打印需求, 可在给定的范围内做调整。

实际操作过程中, 由于杠杆原理, 调整到第三点位时, 第一、二点位一侧会产生微小误差, 因此通常采取“三点五次”调平方式(图 2.31), 补偿调平中间误差, 进一步确保平台水平。五次点位调平结束, 即可退出调平程序, 进行其他功能操作。图 2.32 所示为利用调节旋钮进行调节。

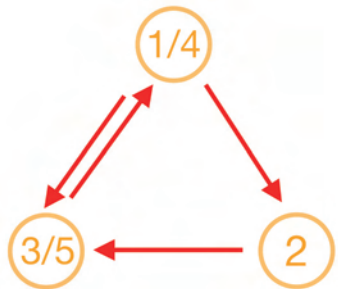


图 2.31 “三点五次”调平示意



图 2.32 调节旋钮

### 3. 预热

许多打印机都具备预热功能, 用于预置打印机喷头及热床的加热温度。进入预热模块, 可对上述两项进行温度设定: 打印机喷头预热温度为  $T_0$ ,  $T_0 = 220^\circ\text{C}$  (默认); 热床预热温度为  $T_1$ ,  $T_1 = 55^\circ\text{C}$  (默认)。图2.33所示为预热界面。

### 4. 换料

常用三维打印机通过打印头内部电机, 即  $E$  轴电机运动, 如图 2.34 所示, 控制材料挤出的流量与流向, 实现进料和退料等功能。





图 2.33 预热界面

如图2.34所示，通过程序控制，当E轴电机顺时针转动时，打印耗材跟随齿轮向喷头方向运动实现进料，喷头内部材料被挤出；当E轴电机逆时针转动时，打印耗材跟随齿轮向背离喷头方向运动实现退料，喷头内部材料停止挤压。

首先进入换料模块界面（图 2.35）。点击进料，打印机喷头升温至预热温度  $T_0$ ， $T_0$  默认为 220℃，PLA 材料具有热塑性，熔点为 180 ~ 235℃。升温完毕，E 轴电机转动，将打印材料放入进料口，缓慢向下推送，当感觉到材料被齿轮带动，平稳向下输送时即可松手，观察到喷头下方有材料被缓缓挤出，若材料挤出均匀顺畅，则说明进料成功。

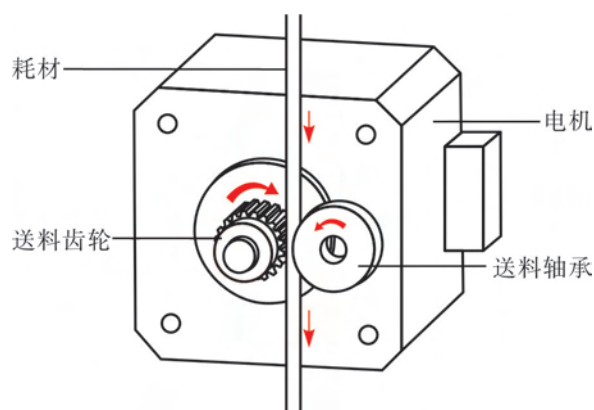


图 2.34 电机运动示意



图 2.35 换料界面

点击退料，打印机喷头升温至预热温度  $T_0$ ，升温完毕，E 轴电机反向转动，观察到进料口处有材料缓缓出现，当材料停止运动，用手轻轻拉动，若材料被轻松取出，则说明退料成功。

## 5. 文件打印

文件打印是三维打印的核心步骤，模型通过分层软件生成打印机识别的打印文件，通过 SD 卡或数据线联机等方式传输给打印机，打印机执行打印文件并最终得到三维打印的实体模型。不同的打印机识别的文件格式有所不同，较为常见的格式有 gcode、x3g、zxep 等，都是记录模型分层后产生的打印命令执行代码的文件。

文件打印过程需要检查和观察打印机状态，具体分为以下五个步骤：

- (1) 检查打印机状态，确认打印平台无异物并已调平，确认打印头已进料。
- (2) 进入打印模块，选择打印文件。
- (3) 执行打印文件，XYZ 轴归零，观察限位器状态是否良好。
- (4) 观察打印头、热床加热情况。

(5) 开始打印。

具备脱机打印功能的三维打印机可直接识别 SD 卡中的文件，无需与电脑联机。进入打印模块，选择目标文件，点击确认，即可进行打印。图 2.36 是打印过程中界面信息。

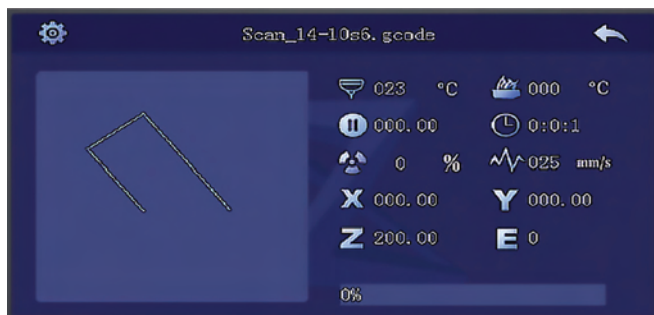


图 2.36 打印过程中界面

## 6. 打印控制

在打印过程中，打印文件本身不会发生改变，但我们可以通过图 2.37 所示的控制界面对文件的打印速度、喷头温度、热床温度、风扇速度、打印状态（暂停 / 停止）进行控制，调整打印参数，中断或终止打印进程。



图 2.37 控制界面

(1) 打印速度。在文件原始速度基础上可根据模型的结构特征和实际打印需求，加快或降低打印速度。一般情况下，打印速度越快，打印用时越少，打印精度也会相应降低；打印速度越慢，打印用时越长，打印精度会有所提高。但对于某些特殊结构，过慢的打印速度会产生较为严重的拉丝现象。

(2) 喷头温度。调整打印温度对打印喷头的流量会产生一定影响。较好的打印温度为 210 ~ 230℃，环境温度较低的情况下，应使用较高的打印温度以确保打印效果。同时，使用改性（在材料原有基础上，经过填充、共混、增强等加工方法，提高某些方面的性能）PLA 材料打印也须根据材料说明使用适合的打印温度。

(3) 热床温度。即打印平台加热温度，一般情况下，热床温度区间是 50 ~ 70℃。

(4) 风扇速度。控制前置风扇转动速度，默认开启状态，加速模型冷却，保障打印效果。

(5) 打印状态。可以对正在打印的文件执行暂停或停止功能。暂停功能记录当前文件

打印状态，可以恢复打印，较高级的打印机在关机后依然可以恢复打印；停止功能即终止打印，不可恢复当前打印状态。

### 7. 模型获取

模型打印完毕后，需要将模型小心地从打印平台上取下，如图 2.38 所示。

通常情况下，取下模型首先需进入预热模块，点击热床加热，待平台升温至预热温度 $T_1$ ，可使用铲刀等工具，从模型与平台接触的边缘开始，缓慢地将模型从平台上剥离；若调平较紧，导致模型黏附较紧不易取出时，可进入预热模块，提高热床加热温度至 $65^{\circ}\text{C}$ ，即可轻松将模型取下。

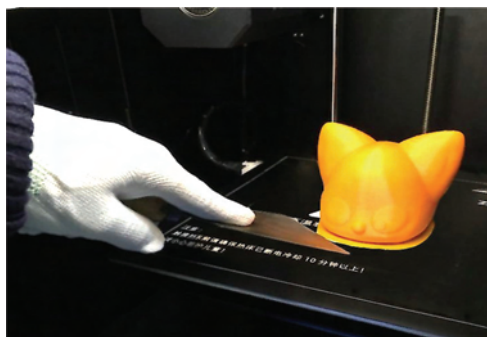


图 2.38 获取模型

模型获取过程可归纳为四个步骤：

- (1) 检查打印机状态，确认打印平台及打印头已归位。
- (2) 检查模型状态。
- (3) 热床加热。
- (4) 戴手套，使用工具取下模型。



### 活动延伸

请使用三维打印机打印你的第一个作品，并填写打印报告。

#### 三维打印机使用报告

姓名		打印机型号		作品名称	
材料类型		文件名		打印时间	
切片参数 设置					
打印过程 记录					

## 本章小结

了解三维打印技术的产生与发展历程，感悟其对人类的生产、生活方式产生的影响，展望三维打印技术的未来。

了解光固化成型三维打印机、熔融沉积成型三维打印机、粉末粘合三维打印机、选择性激光烧结三维打印机的运行原理，以及三维打印的产品前处理、分层叠层成形、产品后处理的加工工艺过程。

学习按照打印尺度大小、成型原理、物体颜色、喷头数量和材料薄层结合方式对三维打印机进行分类。

三维打印机由支撑结构、传动结构、喷头、材料、面板和控制系统组成。

三维打印机的操作步骤分为准备阶段、打印平台调平、预热、换料、打印文件、打印控制、模型获取七个阶段。

## 学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		小组讨论			
	实践活动	熟悉三维打印的现状与原理			
		熟悉三维打印的工艺与设备			
能动手操作三维打印机					
结果评价	目标实现	熟练使用至少一种三维打印机			
	收获反思	收获感悟			
		反思不足			

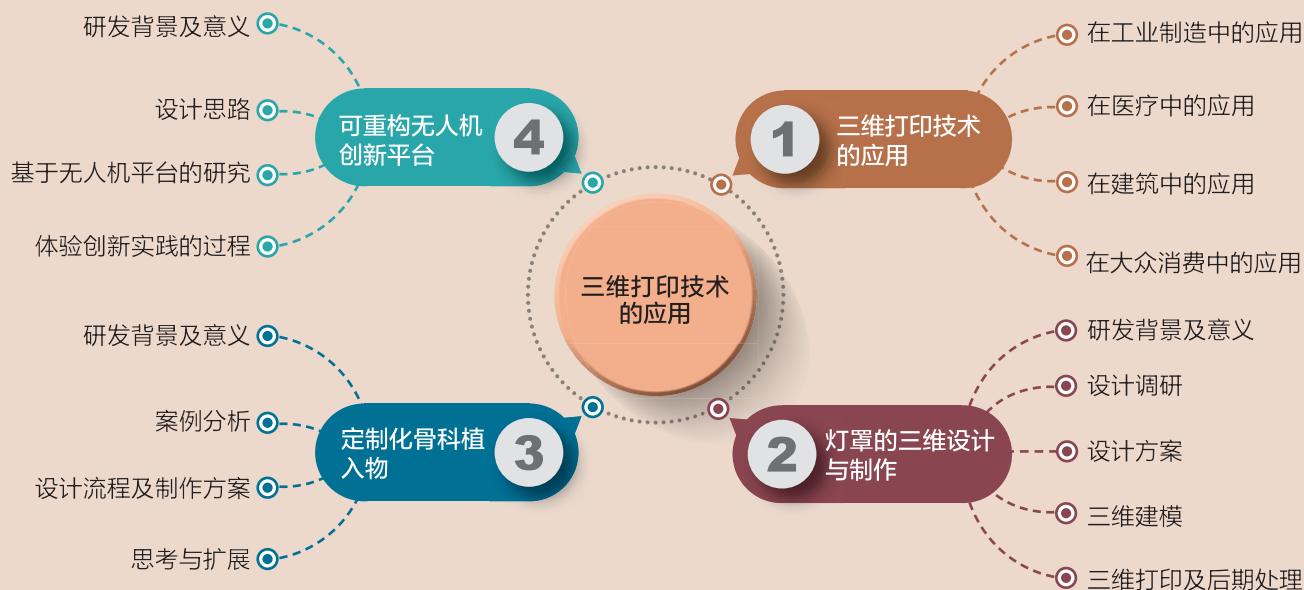
# 第三章

## 三维打印技术的应用

### 导 言

随着三维打印技术的发展，其应用领域不断拓展。三维打印技术可以应用在任何需要模型的行业。目前已经在工业设计、模具制造、机械制造、航空航天、文化艺术、军事、建筑、影视、家电、轻工业、医学、考古、教育等领域得到了广泛应用。

### 思维导图



## 第一节 三维打印技术的应用



### 学习目标

1. 了解三维打印技术在不同领域的应用。
2. 了解三维打印技术目前的普及程度，探索未来可能的应用领域。

### 一、三维打印技术在工业制造中的应用

工业革命过程中，制造业主要通过批量化的流水线制造和自动化生产来降低生产成本，实现规模效益。三维打印技术将使得制造业的产业组织形态和供应链模式重新构建，让制造商和消费者合为一体，由此产生无穷的创新空间。

在“互联网+”战略的推动下，三维打印可以与物联网技术、云计算、大数据、机器人实现融合，实现制造领域设计与制造的一体化，传统领域的衔接物件不复存在，让高端制造更趋完美。

#### 1. 三维打印技术在交通工具制造业的应用

目前，三维打印技术已经应用于交通工具制造业。汽车行业进行安全性测试等工作时，测试者会将一些非关键部件用三维打印的产品代替，在追求效率的同时降低成本。

世界上第一台三维打印汽车（图 3.1）——Strati 使用的是一台高尔夫球车的电动马达，整台车造价仅为 5000 美元，很可能代替摩托车成为人们日常的代步交通工具。制造 Strati 的材料是一种增强型塑料碳纤维，这是一种很坚固并且相对便宜的材料。



图 3.1 世界上第一台三维打印的汽车

#### 2. 三维打印技术在航空制造业中的应用

目前，三维打印技术正在被大规模用于航空制造业。我国正在研发中的首款航母舰载机歼-15、多用途战机歼-16、第五代重型战斗机歼-20、第五代中型战斗机歼-31，以及中国商飞集团的民用大飞机 C919 上，都应用了三维打印技术。西北工业大学还研制出了

三维打印机翼,如图 3.2 所示。

此外,三维打印技术还在服装制造业、建筑行业、大规模生产社会化等方面起到越来越重要的作用。随着三维打印技术的不断发展,三维打印机被整合进很多生产线和供应链,会有更多的制造商开始尝试利用三维打印技术来进行原型制造以外的应用。



图 3.2 三维打印机翼



### 探究与交流

- (1) 你身边有哪些实物是工业制造生产的? 其中哪些用三维打印技术制造出来更方便些?
- (2) 请列举更多三维打印技术在工业制造领域的应用案例。

## 二、三维打印技术在医疗领域的应用

三维打印技术自诞生之日起,就被医学界,特别是硬组织外科领域广泛采用,其临床应用具有非常广泛的产业化市场。目前,三维打印技术在医疗生物行业的应用主要包括以下几个方面。

(1) 三维模型打印。用于教学和病例讨论、模拟手术、整形手术效果比较等。

(2) 体外医疗器械制造。体外医疗器械包括医疗模型、医疗器械(如假肢、助听器、齿科手术模板)等。医学道具、模型、用品等材料也可通过三维打印获得。传统医学教学模型制作时间长,且搬运容易损坏,使用三维打印技术可根据需要随时制作,有效减少制作时间,如图 3.3 所示。



图 3.3 三维打印的牙模

(3) 个性化永久植入物——牙种植、骨骼移植等。以骨骼为例,若人体的某块骨骼需要置换,则可扫描相应的骨骼,再打印出来,最后通过手术植入人体内。人体组织器官代替物的材料要求很高,实现难度大。但目前已有一些成功案例,如复制人体骨骼、制作义肢等。

(4) 细胞打印。细胞打印属较前沿的研究领域,是一种基于微滴沉淀的技术——一层热敏胶材料一层细胞逐层打印。热敏胶材料经过温度调节后会降解,形成含有细胞的三维结构体。细胞打印可以为再生医学、组织工程、干细胞和癌症等生命科学和基础医学领域研究提供新的研究工具,还可以应用于药物筛选技术和药物控释技术,在药物开发领域具有广泛前景。

三维打印技术之所以在医疗领域得到广泛应用,主要是因为其可以满足个性化、精准

化医疗的要求。不过，我们也必须看到可能出现的问题。有分析认为，三维打印技术在带来医学革命的同时，也将带来伦理、审批、监管方面的问题，也就是生物伦理挑战。



### 探究与交流

请分析三维打印技术可能给人们带来哪些生物伦理挑战？

## 三、三维打印技术在建筑中的应用

在建筑行业，三维打印技术不仅能够打印建筑模型，还可以直接打印真实的建筑。2014年3月，苏州市某科技公司用三维打印技术打印了一座别墅（图3.4）。三维打印建筑用的原料主要是建筑垃圾、工业垃圾和矿山尾矿，其他材料主要是水泥和钢筋，还有特殊的助剂。打印过程是三维打印机根据计算机设计的图纸和方案，层层叠加相关构件，之后再对相关构件进行吊装。

由此可见，三维打印技术在建筑行业实现了设计图可视化和设计模型精细化的作用，应用前景非常广阔。



图 3.4 三维打印建筑



### 探究与交流

- (1) 收集一组三维打印建筑模型并在班内展示交流。
- (2) 相比传统建筑，三维打印建筑有哪些优点和缺点？请归纳总结并与同学们进行交流。

## 四、三维打印技术与大众消费

随着三维打印技术的飞速发展，三维打印食品（图3.5）、三维打印服装（图3.6）、三维打印首饰和工艺品等都走入了人们的生活。随着技术的成熟和成本的降低，三维打印机将成为人们生活中不可或缺的必需品。三维打印技术也将是未来人们的必备技能之一。



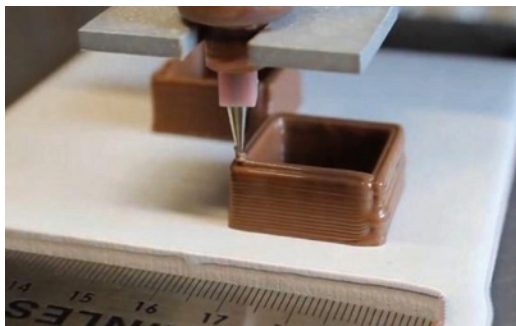


图 3.5 三维打印食品



图 3.6 三维打印服装



### 活动延伸

- (1) 除了上文中讲到的领域外，三维打印技术在教育中也有广泛应用，请举例说明。
- (2) 三维打印技术都综合了哪些现代技术？请绘图加以说明。

## 第二节 灯罩的三维设计与制作



### 学习目标

1. 体验三维产品设计与制作的一般流程。
2. 感受三维打印技术在个性化制造领域的独特价值。
3. 学习灯罩的三维设计与制作。

三维打印技术最初是因为提供个性化定制而被人熟知和喜爱的。随着三维设计及开源三维打印的增多，大量的个性化产品涌现，更多的人得到了这项技术提供的实在利益，同时也给消费者提供了更多的个性化选择。如用三维打印技术制作个性化装饰品、灯饰、服饰、首饰等产品，款式多样、风格各异，很好地实现了人们彰显个性的愿望。图 3.7 所示为三维打印的高跟鞋，图 3.8 所示为三维打印的装饰品。



图 3.7 三维打印的高跟鞋



图 3.8 三维打印的装饰品

## 一、产品研发的背景及意义

使用三维打印技术可以制作各种结构独特、观赏价值高、艺术性强的台灯（图 3.9、图 3.10），其外观、大小完全可以根据个人的需求和喜好来“私人定制”。

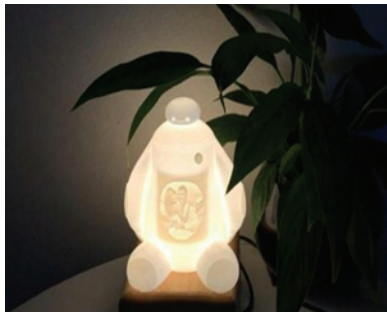


图 3.9 三维打印的浮雕台灯



图 3.10 三维打印的球形台灯

## 二、台灯产品设计调研

在一次与贫困山区儿童的交流活动中，一位山区的孩子表达了他的“微心愿”：想要一盏漂亮的台灯，这样晚上就可以有一个明亮的学习环境了。参加活动的小明决心用他学习的三维打印技术制作一个充满创意的台灯送给他。

目前市场上的台灯种类繁多，样式各异，按材质可以分为五金台灯、实木台灯及陶瓷台灯等，如图 3.11 所示。



五金台灯



实木台灯



陶瓷台灯

图 3.11 各式台灯



### 探究与交流

请同学们利用周末时间，去附近灯具市场调研不同材质的台灯所具有的优点和缺点，并填写下表。

台灯类型	优点	缺点

### 三、灯罩产品设计方案

经过多次设计与修改，小明最终拿出了这样一个灯罩设计图（图 3.12）。图 3.13 所示为灯具组装后的效果图。

本方案主要是在台灯灯罩上进行创新设计，采用多个规则六瓣花在球体上均匀分布，从而制作出一种具有镂空花瓣效果的灯罩。该灯罩打破了传统的灯罩模式，能够给人心花怒放的感觉。灯光控制采用更加人性化的明暗可调的开关模式，当光亮度较低时，能够显示出六个花瓣的投影效果，给人以十分温馨、美妙的感觉；当灯光亮度调到较高时，六瓣花的投影就会淡化、消失，适合阅读时使用。

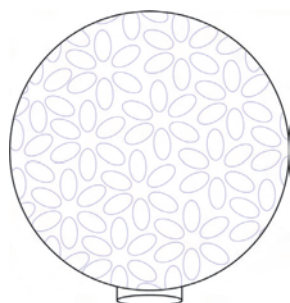


图 3.12 灯罩设计图

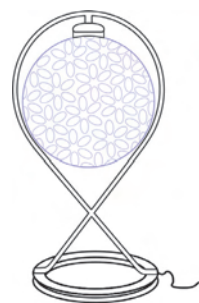


图 3.13 灯具组装效果图

本设计主要采用三维镂空的制作手法，打造出个性化的台灯，请给出你的设计方案。

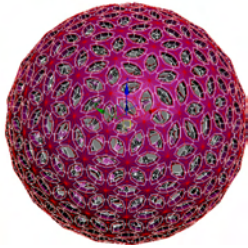

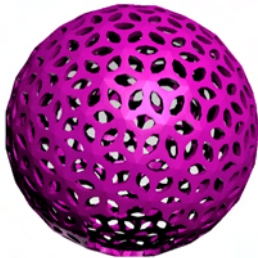

设计方案草图	方案说明

### 四、灯罩产品三维建模

应用三维设计软件制作出灯罩的模型结构，制作步骤如下。

	制作步骤	三维模型效果图
01	在三维软件中绘制一个半径为 80mm 的几何球体。	
02	选择球体，右击，将球体转换为可编辑多边形。	

	制作步骤	三维模型效果图
03	<p>在“可编辑多边形修改”命令面板中，找到“细化”命令，单击“细化”并设置细化方式为“以面为参考”，单击“√”。</p>	
04	<p>调节完细化后，不做任何其他操作，在“可编辑多边形修改”命令面板中，找到“移除”命令，将球体原始三角边框移除。</p>	
05	<p>将球体上所有的边选中，右击，选择“切换到面”，然后在“修改”命令面板中找到“插入”命令，选择“以多边形的方式”插入，设置参数为1.6mm，单击“√”。</p>	
06	<p>操作完插入命令后，再单击“修改”命令面板中的“挤出”命令，选择“以多边形的方式”，设置挤出参数为-4。</p>	
07	<p>挤出完后，保持球体面片被选择状态，删除球体，得到镂空球体效果。</p>	
08	<p>在“修改”面板中选择“边框”命令，在视图中框选出球体上的边界，删除边界，得到镂空面片球体效果图。</p>	
09	<p>在“修改”命令面板中，选择球体所有边，然后再找到“网络平滑”命令，使用默认设置，单击“√”。</p>	

	制作步骤	三维模型效果图
10	选择视图中的镂空球体,在“修改”下拉菜单中,找到“壳”命令,设置内部量为3,给镂空球体增加一个厚度,即可完成镂空球体部分结构制作。	
11	另外绘制一个半径为40mm、高为50mm的圆柱体作为灯罩开口立柱部分结构,并将圆柱体与球体位置对齐、调好。	
12	再到“基本几何体”命令面板下的“复合对象”命令中找到“布尔运算”,将镂空球体与圆柱体进行差集布尔运算。	
13	绘制一个外半径为40mm、内半径为33mm、高为10mm的环形柱体,再次使用并集布尔命令,将环形柱体和切割后的镂空球体合并一个整体,完成灯罩结构部分制作。(注意:灯泡开口部分尺寸以灯泡正好插入为宜。)	

## 五、灯罩三维打印及后期处理

打印步骤	操作过程	图示
01	将三维软件中制作的灯罩三维模型导出 STL 格式文件,在 DM 软件中调整打印位置及参数,再导出默认的打印文件,以英文字母或数字给文件命名,存入 SD 卡中。	

<p>02</p>	<p>在三维打印机程序操作界面，找到对应的文件，然后进行打印操作。</p>	
<p>03</p>	<p>将打印好的台灯罩打磨，去掉毛刺，并与台灯其他部分组装，观察效果。</p>	

随着智能时代的到来，智能控制越来越受到人们的欢迎，上面小明设计的台灯案例在灯控部分只设计了一个简单的明暗调节功能，而且该功能需要通过一个可调节开关来控制。如果要设计一个根据声音大小或环境明暗变化而改变亮度的台灯，该如何实现？请思考如何能够将小明设计的台灯改造成一个智能控制台灯。



活动延伸

请根据前面学习的三维镂空灯罩建模技术，思考并制作出以下心形灯罩结构(图 3.14)。



图 3.14 心形灯罩作品

## 第三节 定制化骨科植入物



### 学习目标

1. 扩展三维打印技术的应用领域。
2. 认识三维打印技术在人体器官领域的应用需要考虑生物兼容性等复杂问题。

### 一、研发背景及意义

临床上治疗因外伤、肿瘤、先天发育畸形等问题引起的各种骨缺损疾病时，需对患者进行外科手术，修复缺损组织并恢复骨头正常结构与功能。在这类手术中，替代用的植入物对患者极其重要。目前常用的植入物有金属和非金属两大类，包括自体骨和人工骨等。在实际案例中，自体骨来自患者自身其他部位，存在材料来源有限、二次伤害等问题；而现有通过传统工艺制备的人工骨存在无法定制化加工、生产周期长、形状结构难与患者匹配而影响术后康复等缺点。

三维打印技术制备骨科植入物，在骨关节、头骨、脊椎等骨缺损修复领域已获得成功应用。医生依据患者的 CT 资料，设计出与患者匹配的植入物模型，利用三维打印技术可迅速制作仿生人工骨以及多孔隙的微观结构与患者相匹配，从而解决传统植入物造成的结构匹配问题。

### 二、研发案例分析

某患者在检查中查出其左侧骨盆存在一颗大型肿瘤（图 3.15），并且肿瘤已经扩散至髋关节，需要立即进行大型切除手术，这意味着患者急需替代用的骨盆及髋关节植入物。标准的创伤及骨科产品无法满足这名患者的手术需求，而时间及结构限制也不允许医疗团队采用传统工艺重新制作，因此该患者的主治医生选择采用三维打印的骨盆植入物装置进行治疗。

在与患者和家庭充分沟通后，医疗团队决定采用以下四个步骤完成骨盆植入物的设计制造，如图 3.16 所示。



图 3.15 患者患部 X 线片

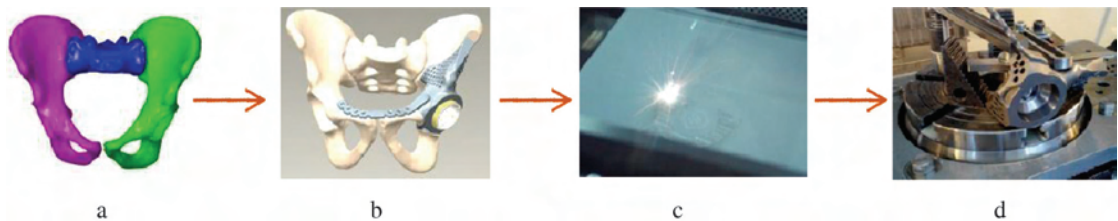


图 3.16 植入装置设计流程

- (1) 获取骨骼模型（图 3.16a）。根据 CT 扫描数据，还原得到患者骨骼三维模型。
- (2) 植入物设计（图 3.16b）。使用计算机辅助设计，根据患者骨骼特征对骨盆植入物装置进行设计，并与医生进行确认。
- (3) 制作（图 3.16c）。使用三维打印机生产制作骨盆植入物实体。
- (4) 后期处理（图 3.16d）。对打印出的植入物进行抛光、打磨等后期处理，使其达到医用植入物标准。

### 三、设计与制作流程及方案

医生确定手术切除区域后，根据患者个体特征，使用计算机辅助设计，制订出最佳骨盆植入物设计方案。使用三维打印的方式设计植入物，不必考虑传统加工工艺造成的限制，结构灵活自由，如图 3.17 所示。

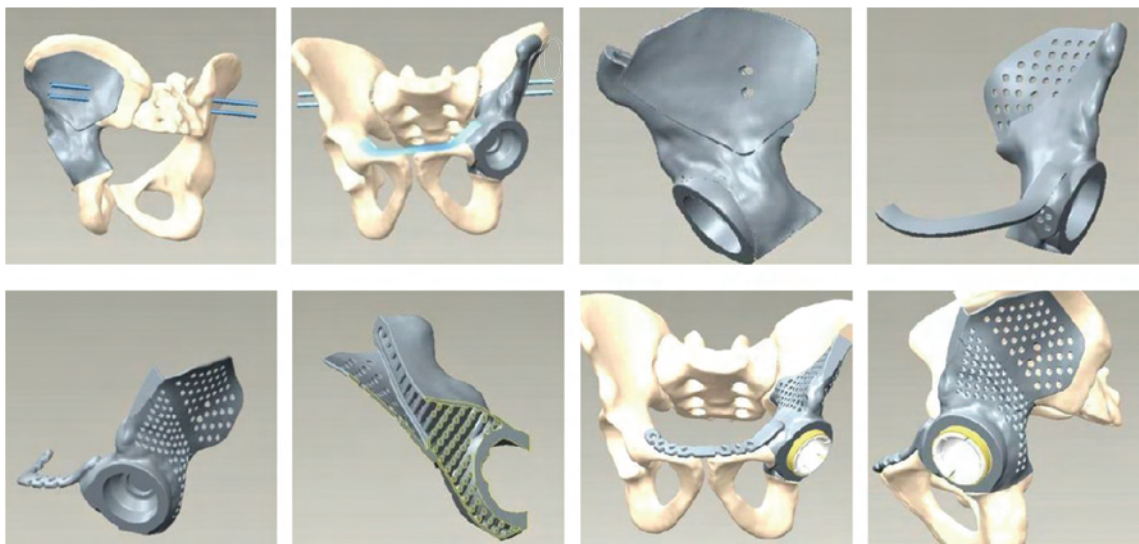


图 3.17 骨盆植入物设计方案

软件中，对打印模式、支撑模式等参数进行调整，将数据导入金属三维打印机打印模型，并得到原始骨盆植入物装置，如图 3.18 所示。对打印得到的植入物去除支撑、打磨后，对尺寸进行验证，并通过数控机床等设备进行后期处理，如图 3.19 所示，最终得到可用于手术的骨盆植入物。



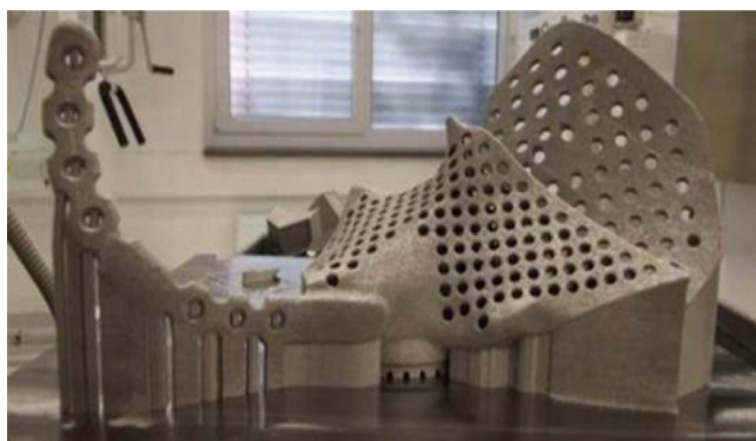


图 3.18 骨盆植入物打印成品

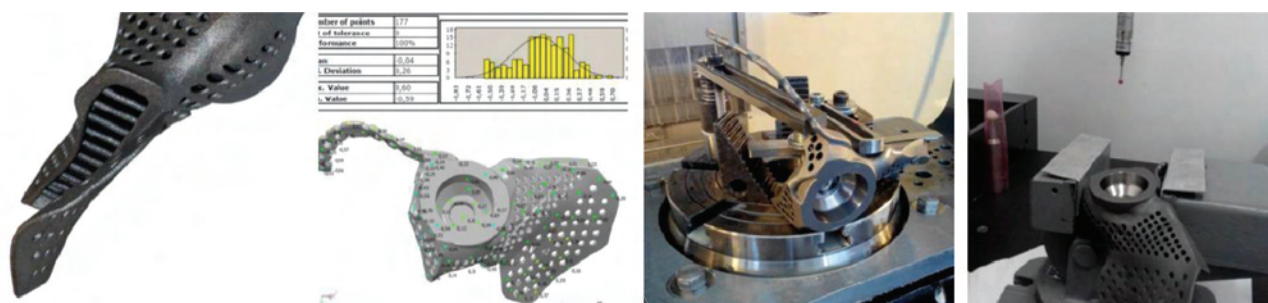


图 3.19 后期处理

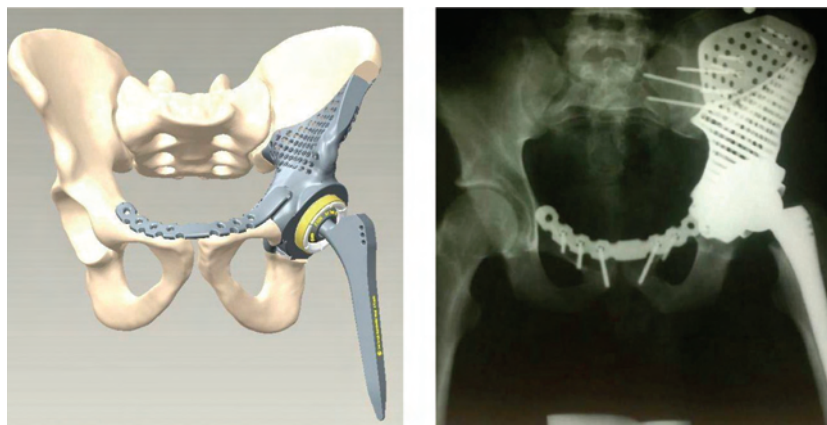
手术使用的替代物由三维打印骨盆植入物与人工全髋关节标准植入物配合组成，如图 3.20 所示，解决了患者的替代物制作难题。最终手术取得圆满成功（图 3.21），医生采用三维打印定制的骨科植入物使患者重新回归正常生活。



a. 三维打印骨盆植入物

b. 人工全髋关节标准植入物

图 3.20 三维打印骨盆植入物与人工全髋关节标准植入物



a. 术前—完整植入装置的三维模型

b. 术后—患者接受X线照射检查

图 3.21 术后效果

#### 四、进一步思考与拓展

先进的三维打印快速成型技术与骨科医疗用品相结合，可使所制备的骨科植入物与人体更匹配，并且在使用材料种类和微观结构等方面接近人体骨骼的同时，确保其力学性能、生物兼容性或排异性、生理功能都与人体骨骼相一致，可实现个性化精准治疗的目标，取得更好的治疗效果。这种方式不仅具有重要的学术意义，而且可以解决相应的制造问题，为疑难杂症的治疗带来全新的可能性。

但是三维打印对原材料要求极高，目前很多骨科常用材料还不能直接用于打印。同时，性能优越的三维打印设备非常昂贵，导致三维打印个性化植入物价格较高，现阶段难以普及。因此，针对三维打印材料和高性能打印设备的研发，仍然是当前各国研究的热点。

相信随着科学技术的发展，未来个性化治疗的全面普及将为人类带来更高的生活品质。



#### 活动延伸

(1) 走访附近的医院，了解三维打印技术在当前医疗行业的应用。其应用前景和目前遇到的最大困难是什么？

(2) 三维打印器官植入人体，一定会有排异反应，请查阅这方面的资料并了解最新进展。

## 第四节 可重构无人机创新平台



### 学习目标

1. 体验三维产品设计与制作的一般流程。
2. 感受三维打印技术在优化结构设计方面独到的优势。
3. 体验利用该平台，实现设计与制造一体化的产品创新过程。

三维打印是一种快速成型技术，可以将设计师的创意转化为形象化、立体化的三维实物原型。三维打印技术提供了一条极具价值的路径并且能够完成反复的设计迭代，尤其在结构设计中体现得更为明显。在开发的初始阶段，可以及时掌握产品设计随机反馈的信息，优化结构设计，降低成本，快速实现创意设计。

### 一、产品研发背景及意义

在中小学技术课程中，无人机（UAV）这种科技含量高、技术集成度大的课程越来越受到同学们的喜爱。无人机技术综合了空气动力学、电子控制、结构设计、材料、能源动力、信息工程等学科，又与生产实际紧密结合，对学生技术素养和物化能力的提高具有重要的作用。

“可重构无人机创新平台”是结合三维打印技术研发的一款可供广大中小學生、教师使用的飞行器教学平台。该平台帮助使用者“随心所欲”地制造出各种无人机。在动手中获取知识，深入思考、延展创意，培养更多的技术创新人才。“可重构无人机创新平台”项目于2016年获得第44届日内瓦国际发明展金奖。

### 二、产品设计思路

本项目将无人机这个复杂的系统分解为两大基础部分：动力模块（图3.22）与连接模块（图3.23）。结合三维打印技术对无人机的整体结构进行尽可能地优化，学生可以自由



图 3.22 动力模块



图 3.23 连接模块

拼装，更容易进行基础飞行和实验，且适应性强，减少了技术瓶颈与开发限制。

由此思路设计出两大基本部分，通过对两大基本部分的任意重构，可以跳过繁复而严格的飞行器结构、电路设计，轻松构建出4轴、6轴、8轴、12轴、16轴等多旋翼无人机，应对多种载荷（图3.24）。



图 3.24 多旋翼无人机

### 三、基于无人机平台的探究

以无人机创新平台为基础，结合三维打印技术，实现了“一套模块，无限可能”的效果。只要将设计好的模块组装上去，便可以加入相应的功能。用户可以自由地发挥想象力，轻松实现自己的创意设计。甚至可以在原来的基础上进行扩展，增加轮子模块，重构为无人车（图3.25）。



图 3.25 重构为无人车

“可重构无人机创新平台”模块是标准化的，通用性极强，降低了各种机型的定制化制造成本，是典型的模块化设计思想的运用。例如：载荷1kg的小型四轴无人机和载荷10kg的大型16轴无人机，使用的三大模块完全相同。模块通用使得多旋翼无人机不存在定制成本，这大大降低了大型、大载荷多旋翼无人机和特殊形态多旋翼无人机的制造成本。模块的通用性很强，也使得飞机维修成本降低，过程简化。

### 四、体验创新实践的过程

很多同学反映四旋翼无人机太大，出去带着不方便。如果摔坏了，零件更换很困难，只能再买一架新的。某位同学针对无人机不易携带、不方便更换零件等问题提出了自己的解决方法，利用榫卯结构设计无人机，采用三维打印技术使这种设计思想很快变成现实（图3.26）。

下面我们就跟随这位同学的脚步运用三维打印制作一架无人机。

第一步，需要利用三维软件设计机臂模型和中心板模型两部分（图3.27、图3.28）。

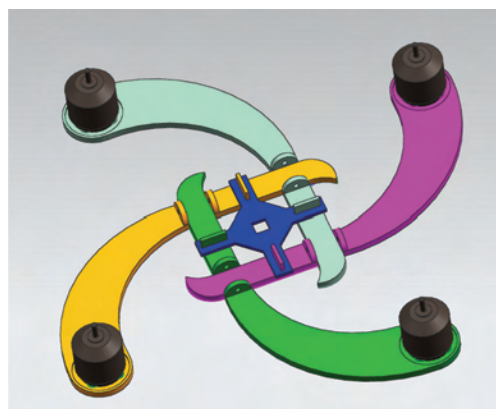


图 3.26 榫卯结构无人机设计效果图

大家参照图 3.29、图 3.30 的零件模型及尺寸来设计三维模型。

第二步，利用前面所学的三维打印技术将三维模型零件依次打印出来，包括机臂 4 个、中心板 1 个，如图 3.31 所示。

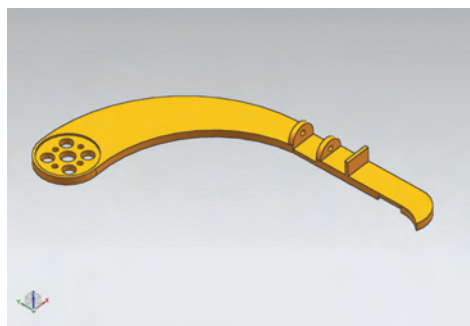


图 3.27 机臂模型

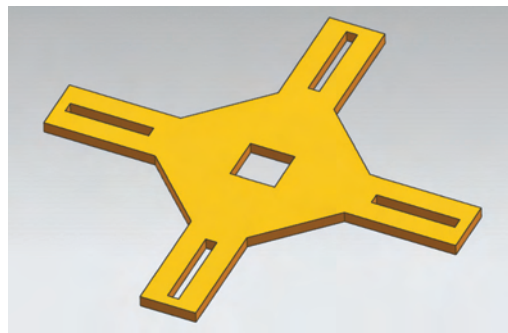


图 3.28 中心板模型

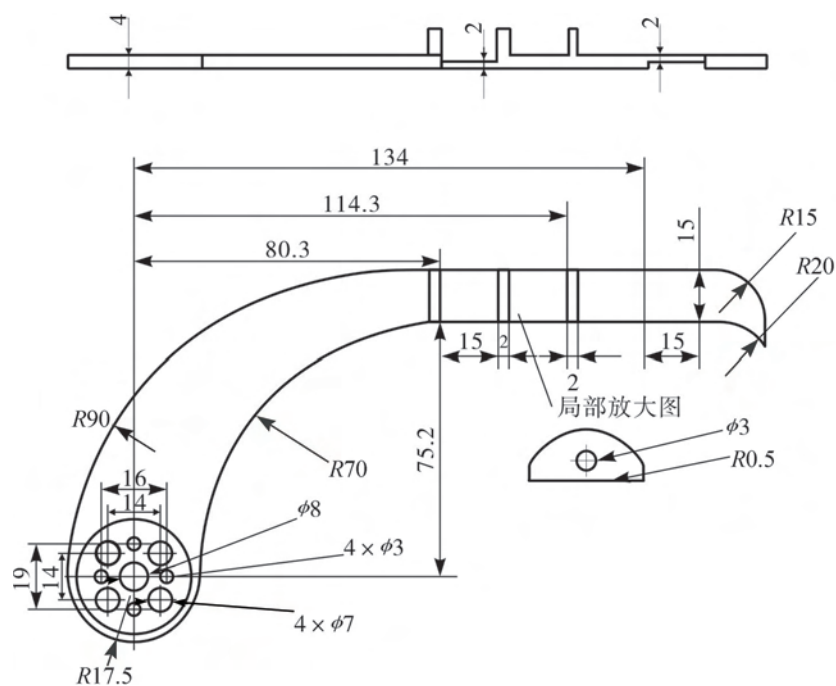


图 3.29 机臂尺寸 (单位: mm)

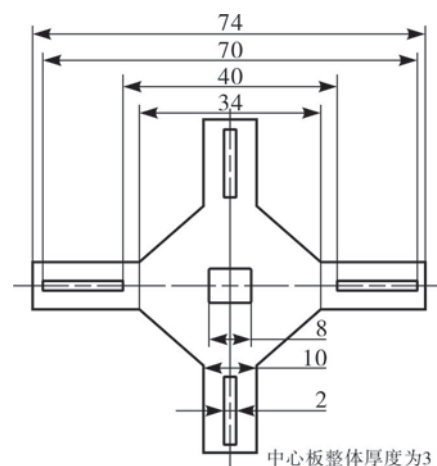


图 3.30 中心板尺寸 (单位: mm)

最后将打印好的零件进行组装，用到的其他器材包括电机 4 个、M3\*8 螺丝 16 个、M3 螺丝刀 1 个、6 寸螺旋桨 4 个等，如图 3.32 所示，最终的组装图如图 3.33 所示。

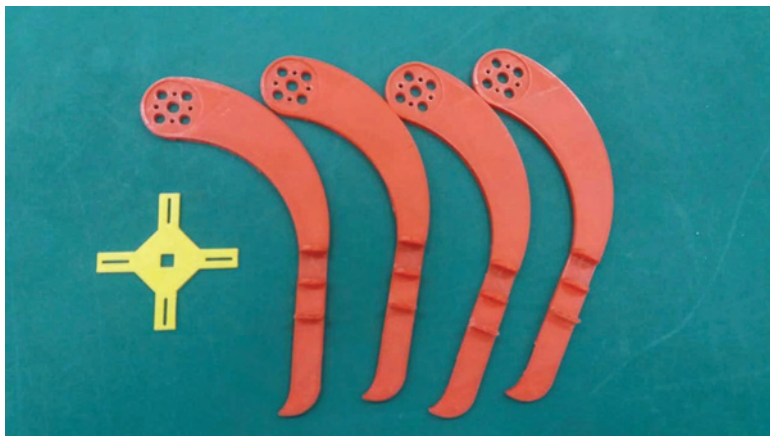


图 3.31 打印零件

通过实践设计制作榫卯结构无人机，你从中学会了哪些知识与技能？你觉得这款无人机还有哪些需要改进的地方？

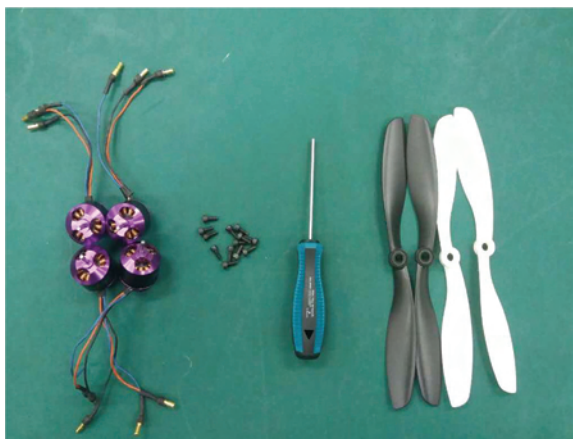


图 3.32 其他器材



图 3.33 三维打印无人机组装图



### 活动延伸

(1) “可重构无人机创新平台”在组装过程中，连接件用螺丝紧固。可是在飞行时，如果出现了螺母松动、连接不紧固的情况，无人机的受力性能会受到影响。这会产生很大的安全隐患。请分析思考，给出你的解决办法。

(2) 进一步了解模块化设计思想，看生活中还有哪些设计应用了这种思想，请举出例子。

## 本章小结

了解三维打印技术目前的普及程度，探索未来可能的应用领域。

了解三维打印技术在交通工具制造、航空制造、服装制造、建筑行业、大规模生产社会化工业制造中的应用。

了解三维打印技术在医疗领域的应用，如医用三维模型打印、体外医疗器械制造、细胞打印、个性化永久植入物（牙种植、骨骼移植）等领域的运用。

详细了解三维打印技术在创意灯罩产品、定制化骨科植入物和可重构无人机创新平台中的运用。

## 学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		小组讨论			
	实践活动	独立完成灯罩的设计与制作			
		多人合作设计新的灯罩			
		了解定制化骨科植入物和可重构无人机			
结果评价	目标实现	前期调研			
		设计方案			
		动作制作			
	收获反思	收获感悟			
		反思不足			

# 第四章

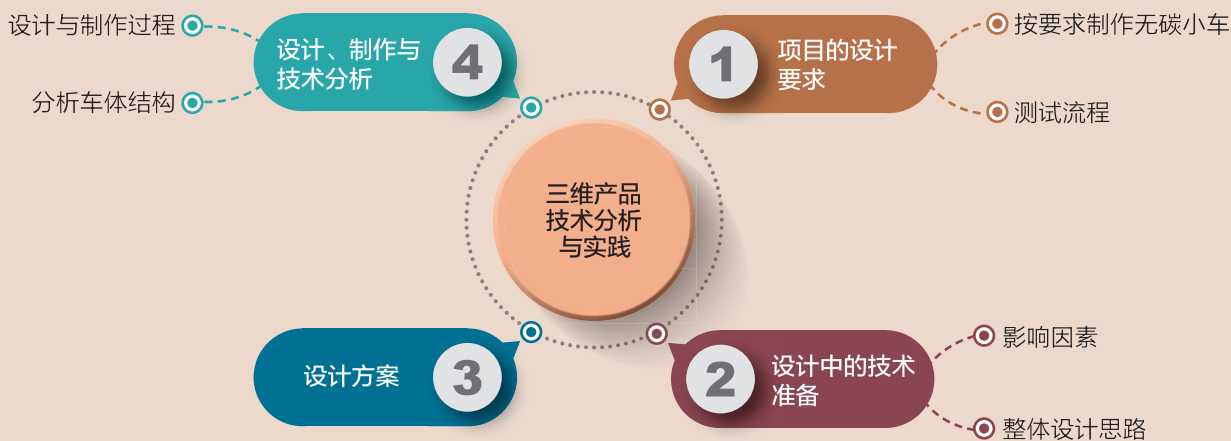
## 三维产品技术分析与实践

### 导 言

技术活动通常是围绕产品设计与制造进行的。产品既是技术活动的结果,也是技术活动的过程,产品的生产过程包括产品设计与产品制造。为了提高产品的质量,人们在产品设计和制造过程中往往要进行技术分析。三维产品的技术分析包括产品在设计、制造过程中所进行的各种性能,以及方案的预测、权衡、比较,其中安全性、科学性、实用性、舒适性、可持续发展等因素的考量非常重要。

本章以“无碳小车的设计与制作”竞赛项目为例,与同学们一起感受三维产品技术分析的要素。

### 思维导图





## 第一节 项目的设计要求



### 学习目标

1. 了解“无碳小车”项目的设计要求。
2. 明确无碳小车的测试流程。

党的十九大报告中指出，坚持人与自然和谐共生，必须树立和践行“绿水青山就是金山银山”的理念，坚持节约资源和保护环境的基本国策。青少年作为未来社会主义的建设者，一定要树立节约资源和保护环境的意识。

### 一、设计要求

设计并制作一辆无碳小车，动力仅来源于某一确定的重力势能，不能附加任何外在能量。如何设计才能使同学们的小车获得最大的前进能量，行驶最远的距离？

#### 1. 无碳小车的设计要求

设计一种小车，驱动其运动的能量是根据能量转换原理，由给定重力势能转换来的。如图 4.1 所示，给定重力势能为 4 焦耳（取  $g=10\text{m/s}^2$ ），测试时统一用质量为 1kg 的重锤（ $\phi 50\text{mm} \times 65\text{mm}$ ，普通碳钢）下降来获得，落差  $400\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。重锤落下后，须被小车承载并同小车一起运动，不允许从小车上掉落。

①要求小车运动过程中完成所有动作所需的能量均由此重力势能转换获得，不可使用任何其他能量来源。

②要求小车为三轮结构，具体设计、材料选用及加工制作均由参赛学生自主完成。

③小车的零部件中至少有两个零部件由三维打印机打印完成。

④参赛队必须参与小车的每一个制作过程，包括工具使用、材料加工与装配调试。

⑤小车制作材料中不包括弹簧。

#### 2. 小车规格

小车体积不超过  $35\text{cm} \times 35\text{cm} \times 70\text{cm}$ （长 × 宽 × 高）。

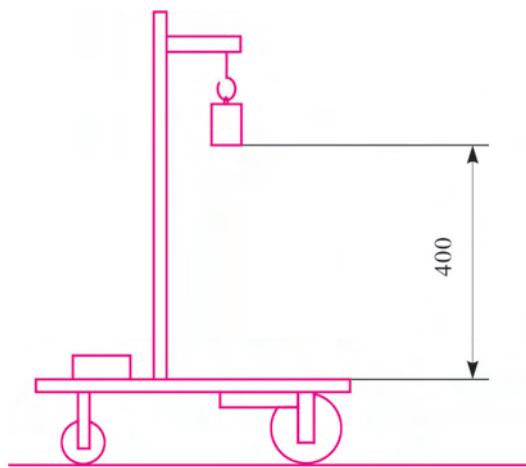


图 4.1 无碳小车示意（单位：mm）

## 二、无碳小车的测试流程

(1) 比赛时间开始之后, 参赛队将小车放置在测试轨道“候车区”上, 小车车头最前端恰好与“起点线”重合, 轨道表面尽可能光滑(即与普通宣传海报表面类似)。轨道由候车区、赛道、安全区三部分组成, 如图 4.2 所示。

小车轨道表面由三块尺寸为 50cm × 50cm × 0.3cm(长 × 宽 × 高) 和一块尺寸为 60cm × 50cm × 0.3cm(长 × 宽 × 高) 的未覆膜海报纸拼接而成, 请注意轨道连接处缝隙对小车运行的干扰。

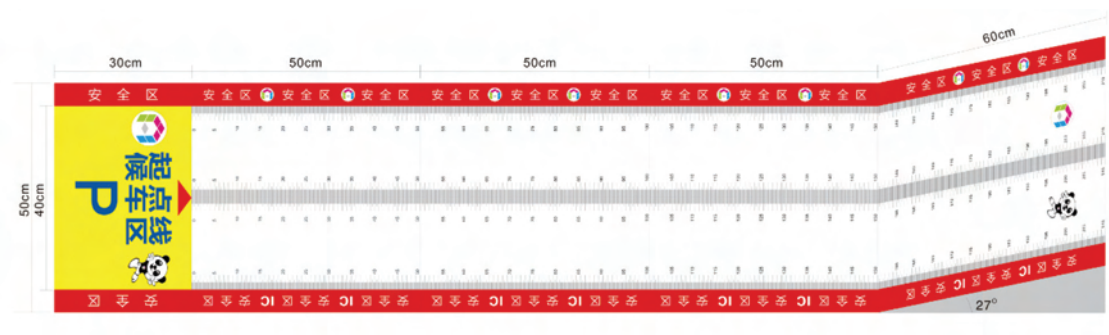


图 4.2 小车测试轨道效果图

- (2) 释放重锤, 小车在重力势能驱动下自由行驶。
- (3) 每个小组可以测试两次, 取最好的一次成绩计算。

名称	规格(长 × 宽 × 高)	名称	规格
小车候车区	30cm × 40cm × 0.3cm	斜面轨道坡度	27°
斜面有效行驶轨道	60cm × 40cm × 0.3cm	轨道右侧安全区宽度	
直线有效行驶轨道	150cm × 40cm × 0.3cm	轨道左侧安全区宽度	

- (4) 行驶距离(L)为小车在规定轨道上行驶的最远距离。
- (5) 小车评分: 小车整体的任何一部分覆盖(可理解为小车整体自上而下的俯视投影)或超出测试轨道安全区视为测试结束, 记录小车行驶的有效距离。



### 探究与交流

- (1) 了解项目设计要求, 思考影响小车前进距离的主要因素。
- (2) 根据题目要求, 初步制订小车设计方案, 画出草图, 并与同学交流。
- (3) 小车的动能来源于重力势能, 对于交通工具来讲, 还有哪些绿色、方便的能源可供我们开发、使用? 请尽可能多地列举各种能量的形式。

## 第二节 设计中的技术准备



### 学习目标

1. 知道方案的形成离不开技术上的充分准备。
2. 形成产品的设计思路。

无碳小车在设计之前，要事先做好技术准备工作，请与同学交流在进行小车设计时要重点考虑的因素。影响小车前进的主要因素有哪些？如何实现有限势能的合理利用？如何考虑小车在运行过程中的稳定性？加工过程中材料、制作工艺如何影响小车的功能？这些问题都搞清楚了，才可以着手进行小车设计工作。

下面给出了小车设计过程中技术分析的几个方面。

### 一、影响小车爬坡的主要因素

根据比赛规则，直线轨道长度为 150cm，斜面轨道长度为 60cm。根据  $\frac{1}{2}mv^2=mgh$  可知，影响小车爬坡高度的因素主要是小车的速度，所以设计重锤从 400mm 高度以一定速度滑落到小车上时，小车刚好走完直线轨道，使小车得到最大行驶距离。

重锤的重力势能转变成小车的动能，由  $mgh=\frac{1}{2}(m+M)v^2$  ( $m$  为重锤质量， $M$  为小车质量) 可知，因重锤的重力势能是一定的，重锤落下后，小车的速度大小主要与小车的质量有关，相同条件下小车质量越小，速度越大。设计时尽量减小小车质量，同时还要考虑小车的承重和稳定性，尽量减少小车车轮与地面的摩擦系数。因此，选用硬铝为制作材料，车轮加工成镂空且厚度较薄比较合适。

技术设计阶段的目标是完成详细设计确定各零部件的尺寸。设计的同时综合考虑材料、加工成本等各因素。通过对小车建立数学模型，可以实现小车的参数化设计和优化设计，提高设计的效率并得到较优的设计方案。充分发挥计算机在辅助设计中的作用。

为了简化分析，先不考虑小车内部的能耗机制。

设小车能量的传递效率为  $\xi$ ，即小车内部的能耗系数为  $1-\xi$ 。小车轮与地面的摩擦系数为  $\delta$ 。

理想情况下认为重块的重力势能都用在小车克服路面阻力前进上。则有

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^3 \frac{N_i * \delta}{R_i} S_i = \xi mgh \\ \sum_{i=1}^3 N_i = m_{\text{总}} g \end{cases}$$

$N_i$  为第  $i$  个轮子对地面的压力,  $R_i$  为第  $i$  个轮子的半径,  $S_i$  为第  $i$  个轮子行走的距离,  $m_{总}$  为小车总质量。

为了更全面地理解小车的各个参数变化对小车前进距离的影响, 下面分别从轮子与地面的滚动摩擦系数、轮子的半径、小车的总质量这几个方面考虑。

(1) 通过查阅资料知道, 一般材料的滚动摩擦系数在 0.1 到 0.8 之间。当车轮半径固定, 摩擦系数分别为 0.3、0.4、0.5……小车前进的距离与摩擦系数的关系如图 4.3 所示。

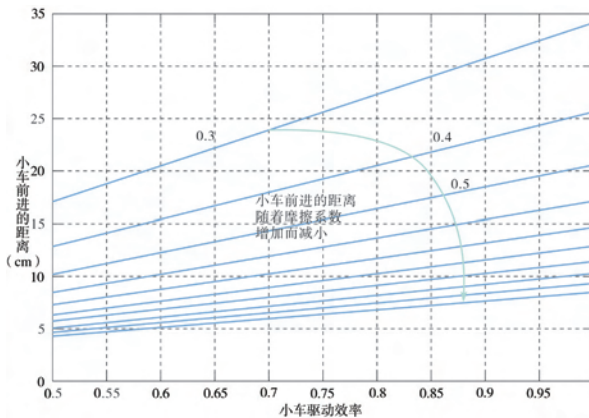


图 4.3 小车前进的距离与摩擦系数的关系

由图 4.3 可知, 滚动摩擦系数对小车的运动影响非常显著, 因此在设计小车时要特别注意考虑轮子的材料, 轮子的刚度尽可能大, 与地面的摩擦系数尽可能小。

小车为轮子提供能量的效率提高一倍, 小车前进的距离也提高一倍, 因此应尽可能减少小车内部的摩擦损耗, 简化机构, 充分润滑。

(2) 当摩擦系数为 0.5 时, 车轮半径依次增加 10mm 时, 小车前进的距离与车轮半径的关系如图 4.4 所示。

由图 4.4 可知, 当小车的半径每增加 10mm, 小车便可多前进 1m 到 2m。因此在设计时应考虑尽可能增大轮子的半径。

(3) 当摩擦系数为 0.5 时, 小车质量依次增加 0.2kg 时, 小车前进的距离与小车质量的关系如图 4.5 所示。

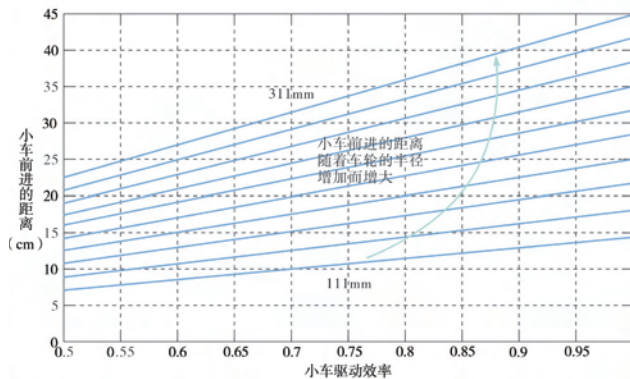


图 4.4 小车前进距离与车轮半径的关系

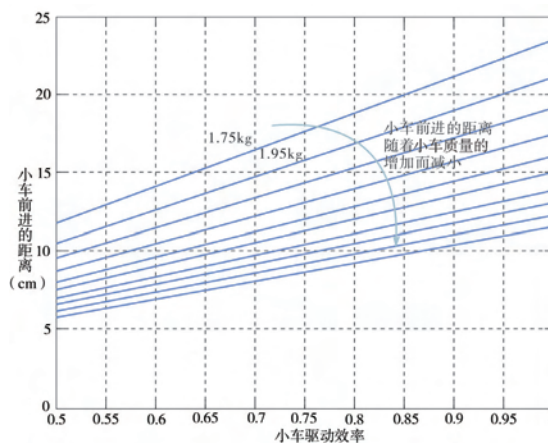


图 4.5 小车前进距离与小车质量的关系

由图 4.5 可知, 小车前进的距离随着小车质量的增加而减小。因此在设计时应考虑尽可能减少小车的质量。



**小贴士**

图 4.3、图 4.4、图 4.5 是由 Matlab 软件绘制而成的，感兴趣的同学可以在网上自学。Matlab 是一款商业数学软件，用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 Matlab 和 Simulink 两大部分。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化，以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计和必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种较全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言的编辑模式。

**二、形成整体设计思路**

图 4.6 所示为某活动小组的无碳小车设计图框。

在选择方案时应综合考虑功能、材料、加工、制造成本等各方面因素，同时尽量避免直接决策，减少决策时的主观因素，使选择的方案能够综合最优（图 4.7）。

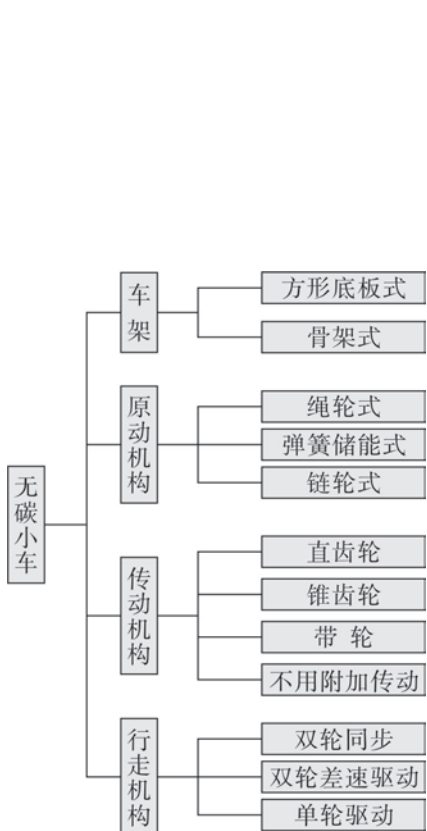


图 4.6 无碳小车设计图框

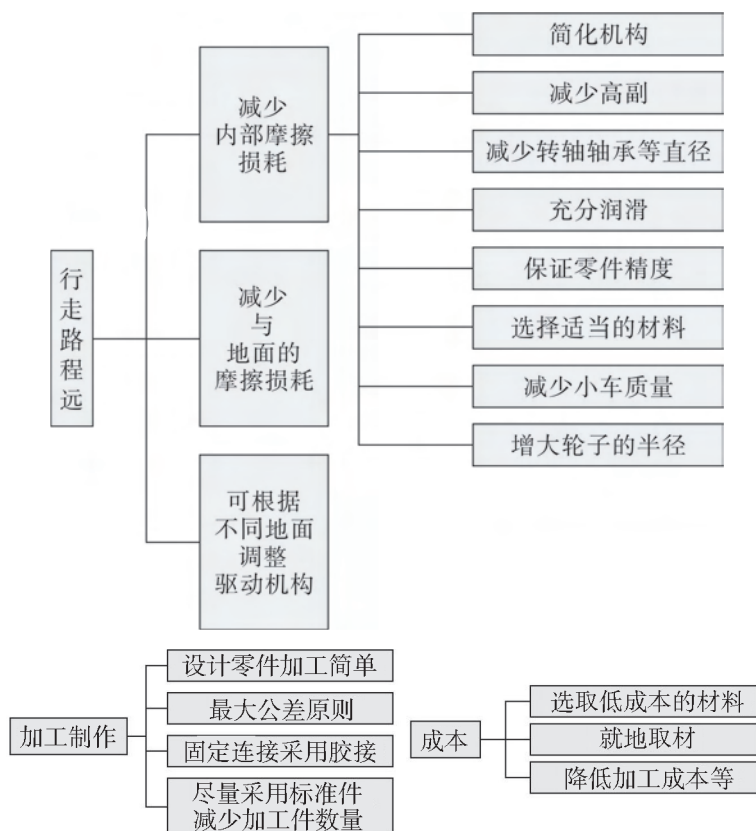


图 4.7 小车设计方案的分析



**探究与交流**

- (1) 请根据文中的主要影响因素和整体设计思路，进一步分析并优化自己设计的无碳小车方案。用 Inventor 软件建模并生成工程图纸。
- (2) 除了上述设计要素，设计过程中还应该注意什么？请给出你的理由。

## 第三节 设计方案



### 学习目标

1. 完成三维产品设计的技术分析。
2. 根据三维产品的技术分析写出分析报告。

根据设计的规定和要求，小车的设计方案中可变之处主要集中在小车外形的大小、小车底盘的高低、轮子的大小、绕线轮的大小、小车行驶轨迹等问题。

下面以两组同学的设计方案为例，介绍其产品的技术分析过程。

设计环节	方案 A	方案 B
创意来源	<p>旗鱼作为水中运动的高手，它的外形对于克服流体的阻力有着重要帮助，我们设计的无碳小车借鉴旗鱼的外形特点，在大型部件上采用扁平、圆滑的外观。</p>	<p>辘轳，一种安装在井口上方的绞车式起重装置。井上竖立支架，上装可用手柄挂转的轮轴，转轮上绕一绳索，绳的一端固定在转轮上，另一端连接容器。常用于从井中汲水，也用于地下工程的施工出土和凿井采矿。辘轳的应用在我国时间较长，虽经改进，但大体保持了原形，说明在几千年前我们的祖先就设计了结构很合理的辘轳。这也是我们的创意来源。</p>
结构设计	<p>1. 外形结构设计</p> <p>将小车上主要的部件如车轮、车板等设计成圆滑而扁平的形状，并且不设置车厢，让空气顺利通过车体板块之间的空间，尽可能减少空气对车体的阻力。</p> <p>小车是三轮结构，为了行驶的稳定，小车的重量分布要均匀，所以我们将重心的位置大约设置在小车中部。</p> <p>2. 动力结构设计</p> <p>赛题已明确动力来源是重物的下落，初步设计时我们想到以下几种获得动力的方式：</p> <p>(1) 让重物自由下落撞击传动部件使小车前进。</p>	<p>1. 无碳小车车体</p> <p>(1) 底座样式。底板作为小车的主体，是支架连接的基础，由于承重物的重量仅为 1kg，所以我们选用铝板或薄木板。为了美观及减少材料的使用，保证爬坡时的稳定性，所以我们使用铁塔形的底板。</p> <p>(2) 支架。考虑到支架较长，用多个支架会增加小车的整体重量，故使用单个支架。但考虑到所吊物的重量，用单支架不能稳定，所以由顶端向三点连三条绳子以稳定支架。又因为在重物的下落过程中，会受到非惯性力而向小车后部移动，为使其不撞到支架，所以支架应略向前倾。</p>

结构 设计	<p>(2) 让重物下压承重板,让承重板与重物一起下降,最终带动小车前进。</p> <p>(3) 利用绳子悬挂重物,在滑轮的帮助下带动小车前进。</p> <p>以上几个方案中,方案(1)撞击会导致大量能量损失,并不可取;方案(2)中重物下落获得的动力大小不方便调节,传动结构比较复杂,容易导致能量的损耗;方案(3)则可以通过改变滑轮半径的方式来改变动力的大小,这样可以使重物速度较快时及时减速,防止重物剧烈撞击小车车板导致能量损失,使得重物的重力势能和动能都能转化成小车的能量。另一方面,这种方案中涉及的结构基本上是转动的结构,其阻力较为容易减小。最终我们确定利用方案(3)进行设计。</p> <p>3. 传动结构设计</p> <p>我们的无碳小车是基于自行车的基本传动结构设计的,通过链条、齿轮、轴承等部件将4焦耳的重力势能转化成小车的动能。这种结构的好处在于传动的环节较少,并且利用轴承可以显著减小每个环节的阻力,使得总体阻力也较小。</p> <p>4. 轮子结构设计</p> <p>考虑到要兼顾车辆的稳定性和整体尺寸限制,轮子既不能太小也不能太大,我们最终确定轮子的直径介于整个车身长度的1/3到1/2之间。为防止车轮打滑,我们在轮子上装上橡胶或轮胎,避免因打滑导致的能量损失。</p> <p>5. 小车制作材料的选择</p> <p>考虑到小车太重会增大阻力,车体主要以轻质木材为主,为了保证车轮能够做圆,我们设想使用玻璃或金属材质。</p>	<p>(3) 车轮。由于滚动摩擦阻力远小于滑动摩擦阻力,只有滑动摩擦阻力的1/30到1/20,所以在所有的转动部分都装上轴承。</p> <p>2. 原动机构</p> <p>原动机构将重物的重力势能转化为小车的动能,必须满足下列要求:</p> <p>(1) 结构简单易于调试。零部件结构简单,所用体积及质量小,可以快速组装,适应比赛场地。</p> <p>(2) 驱动力适中。可降低重物下降速度,使能量转化平稳进行。</p> <p>(3) 能量转化率高。通过滑轮和线绳将重力势能直接转化为动能。经过分析,我们使用绳轮式原动机构。</p> <p>3. 传动机构</p> <p>作为传动机构,要满足如下特点:</p> <p>(1) 结构比较简单,制作、安装、维护简单方便。</p> <p>(2) 传动距离远,且运动时平稳、无噪声。</p> <p>(3) 能缓冲重物下落时的冲击力。</p> <p>因此我们采用带轮式传动机构。</p> <p>4. 行走机构</p> <p>采用双轮同步驱动。</p> <p>5. 操作步骤</p> <p>(1) 固定支架及小车位置,组装好定滑轮及固定杆。</p> <p>(2) 将细线缠于后轮轴上,重锤上升。</p> <p>(3) 松开重锤,小车获得动能,使小车平稳运行。</p>
设计 原则	<p>根据赛题要求,小车的能量来源只能是物体下落获得的4焦耳重力势能。在能量有限的情况下,盲目通过杠杆等结构增大小车的动力是不可取的。因为根据能量守恒定律,增大动力并不能获得更多能量,如何把4焦耳的重力势能尽可能多地转化成小车的动能、提高能量的利用效率才是核心任务。基于这样的想法,我们确定了小车设计的基本原则——减小阻力、减少能量损耗。</p>	<p>(1) 为了保持小车爬坡时的稳定,要保证小车前轮的稳定。</p> <p>(2) 能量转化公式: <math>4 = (M+m)gh + Q</math>, <math>M</math>为小车质量, <math>m</math>为重物质量, <math>h</math>为爬坡高度, <math>Q</math>为发热的能量。要使小车爬得尽量高,那么小车要具有较小的质量。</p>

<p>主要创新方法及创新点</p>	<p>小车的设计制作创新点必须基于创新方法，二者密不可分，所以下面我们将方法和创新点一并说明。</p> <p>1.动力装置</p> <p>根据前述可以看出，如果重物急剧下落发生撞击将会导致能量损耗。为解决这个问题，我们设计了一个半径会发生变化的滚轮。当其半径变化的时候，重物拉力的力臂将会发生变化。开始时拉力力臂大，产生的力矩也大，有助于小车的启动；后来滚轮半径减小，拉力力臂减小，产生的力矩也减小，使得重物减速下落。通过计算和实践，逐渐找到滚轮的最优半径变化设置，从而尽可能使得重物落到承接板时速度减为零，这样重物的能量将得到最大化的利用。为了让线的位置能够按照设定进行变换，且在滚轮上不会发生偏移，我们采用木材来制作滚轮，并在滚轮上根据计算和实际的结论挖出线槽，使得拉力的力臂能够达到预定的要求。</p> <p>2.传动方式</p> <p>我们曾考虑按照机械钟表的齿轮传动方式进行传动，但这种方式需要定制不少齿轮，其造价不菲，与我们这次环保的主题要求相背离。综合考量之下决定弃用全齿轮连接方式，转而利用链条传动，这样既节约了成本又能够减轻整个车体的重量，还减少了转动轴的数量，这些都能够大大降低阻力的影响。</p>	<p>主要创新方法：</p> <p>(1) 多绳固定法。</p> <p>(2) 梭型减阻法。</p> <p>作品的创新点：</p> <p>(1) 展翼式底座。</p> <p>(2) 单支架结构。</p>
<p>设计草图</p>		





### 探究与交流

- (1) 请分析上述两种方案的优缺点。
- (2) 给出你们的设计方案并写出分析报告。

创意来源	
结构设计	
设计原则	
主要创新方法及创新点	
设计草图	

## 第四节 设计、制作与技术分析



### 学习目标

1. 了解无碳小车的设计与制作过程。
2. 从对车体各组成部分的设计中学会三维产品技术分析方法。

无碳小车各部分的方案确立后，就可以着手设计和制作了。在这里，我们要求小车至少要有两个零部件是用三维打印技术加工的，其他可以选择任何加工手段。

### 一、设计与制作的主要过程

无碳小车的设计与制作主要由三维建模阶段、零件图纸阶段、零件加工阶段和装配调试阶段四个阶段组成。下面按照先后顺序简述这四个主要阶段。

#### 1. 三维建模阶段

利用 Inventor 软件在设计中的优势，根据各部分结构方案，进行三维建模。通过 Inventor 三维仿真动画，检验小车各运动部分是否有干扰、小车整车比例是否协调，然后对发现的问题进行优化调整，以达到设计要求。图 4.8 为无碳小车的三维设计主体模型。



图 4.8 无碳小车三维设计主体模型

#### 2. 零件图纸阶段

借助 Inventor 软件生成的三维立体图，可得到各个零件的二维平面图。利用 AutoCAD 软件，完成各部分尺寸、尺寸公差、形位公差，以及加工表面粗糙度等技术要求的标注，并

完成零件材料的选择，最终完成工程零件图的绘制。图4.9所示为无碳小车主体设计图，图4.10所示为无碳小车底盘和车轮零件图。

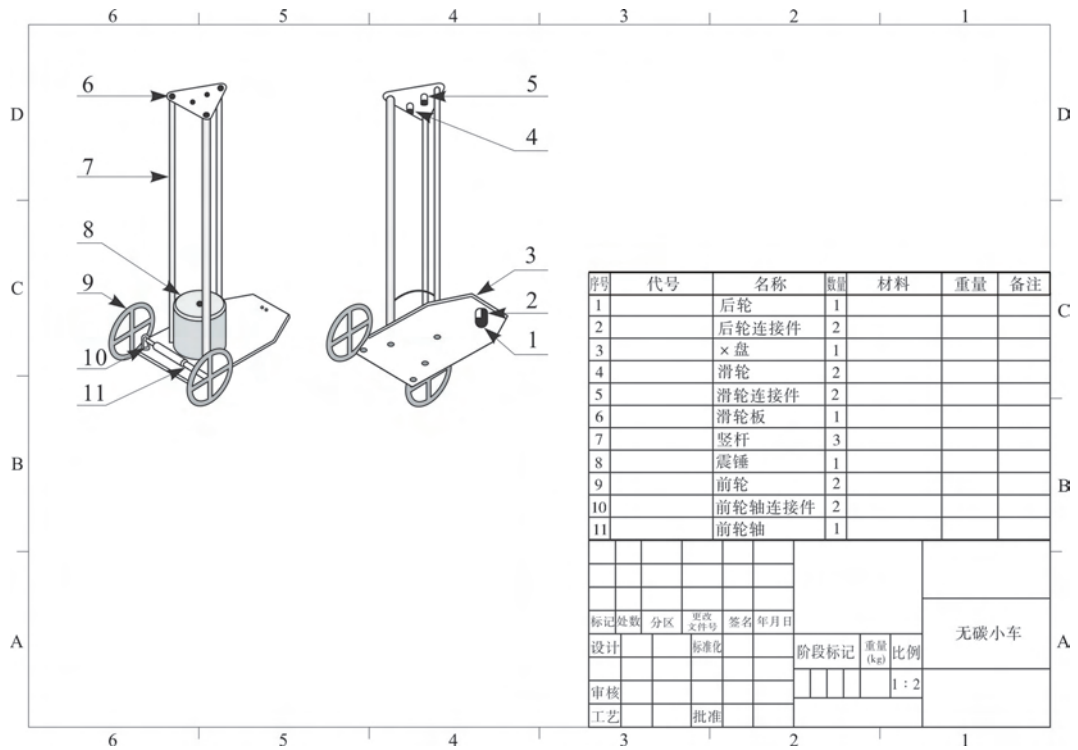


图 4.9 无碳小车主体设计图

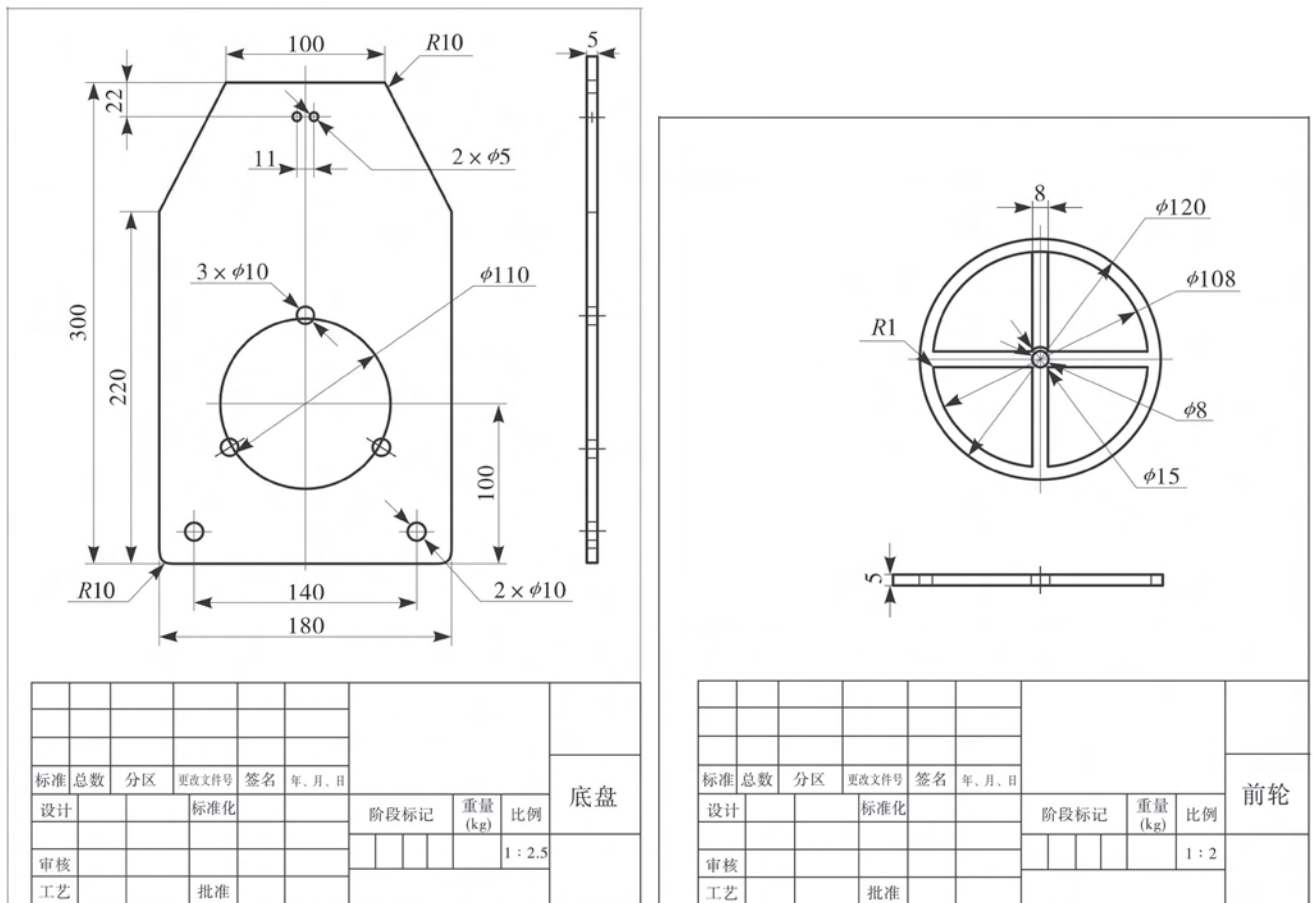


图 4.10 无碳小车底盘和车轮零件图 (单位: mm)



### 活动延伸

请根据上文中提到的检验方法，在 Inventor 软件中将自己设计的无碳小车方案生成三维动画，检验小车各运动部分是否有干扰、整体比例是否协调，进一步优化设计方案，并生成相应工程零件图纸。

### 3. 零件加工阶段

根据零件的工程图纸要求，准备所需的材料，制订零件的加工工艺流程，按照图纸和工艺要求，采用机械切削加工、特种加工或三维打印技术，加工制作出小车的各个零件。当全部零件加工、检验完毕，从市场购买的零部件也到位后，就可以按小车的装配图，做装配的准备工作。

### 4. 装配调试阶段

根据小车的装配图进行装配。装配完成后，需要对小车进行调试，使各部分运转灵活，并进行试运行，以达到设计的预期要求。调试是小车装配工作中重要而关键的环节。



### 活动延伸

根据自己设计的无碳小车零件图纸，按照不同的工艺要求，加工制作出小车的各个零件，然后组装、调试，完成小车制作。

## 二、对车体的设计分析

无碳小车的车体由车架、原动机构、传动机构和行走机构组成。如何选用适当的各组成部分，做到心中有数，就需要对它们进行细致的分析。

### 1. 车架

车架不用承受很大的力，精度要求较低。考虑到质量、加工成本等因素，车架采用铝合金薄板加工制作成三角底板式，如图 4.11 所示。

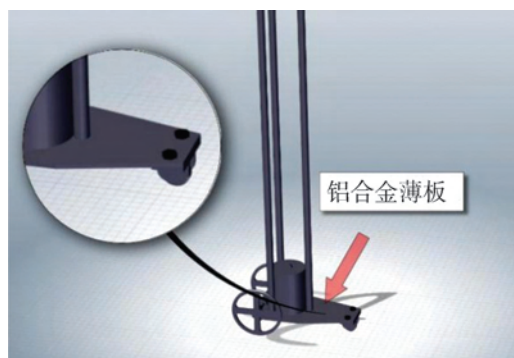


图 4.11 铝合金薄板制作车架

## 2. 原动机构

原动机构的作用是将重物的重力势能转化为小车的驱动力。为了尽可能多地使重物的重力势能转化为小车的驱动力，原动机构还需要满足的要求有：

- (1) 重物在下落过程中要比较稳定，以避免重物晃动厉害而影响行走的稳定性。
- (2) 到达终点前重物竖直方向的速度要尽可能小，避免对小车过大的冲击。同时使重物的动能尽可能地转化到驱动小车前进上，如果重物竖直方向的速度较大，重物本身还有较多动能未释放，能量利用率不高。
- (3) 由于不同的场地对轮子的摩擦系数可能不一样，小车需要的动力也不一样，因此原动机构应该设计成根据需要可调整其驱动力的机构。
- (4) 机构简单，效率高。
- (5) 支撑柱选用轻质材料，同时为防止重物下落时落偏，支撑柱设计为三根垂直杆件插在小车底板上，且均匀分布在圆周上。

基于以上分析提出的绳轮式原动机构，如图 4.12 所示。

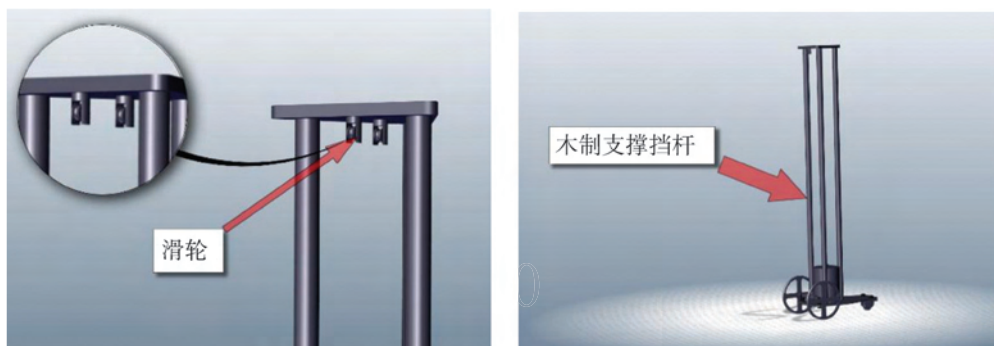


图 4.12 原动机构

## 3. 传动机构

传动机构的功能是把动力和运动传递到驱动轮上。要使小车行驶得更远，传动机构必须具有传递效率高、传动稳定、结构简单、重量轻等特点。

- (1) 不用其他额外的传动装置，直接由动力轴驱动轮子，此种方式效率最高、结构最简单（图 4.13），在不考虑其他条件时是最优的方式。
- (2) 带轮具有结构简单、传动平稳、价格低廉、缓冲吸震等特点，但其效率及传动精度并不高，不适合本小车设计。

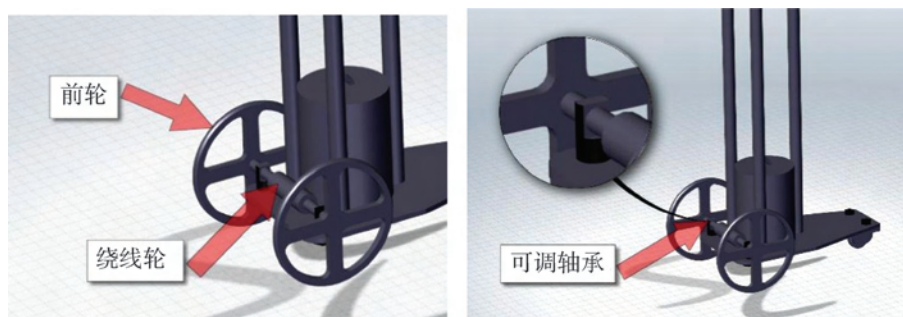


图 4.13 传动机构

(3) 齿轮传动具有效率高、结构紧凑、工作可靠、传动比稳定等特点，但价格较高。在带轮传动不能满足要求的情况下，应优先考虑使用齿轮传动。

#### 4. 行走机构

小车的行走机构常见的有轮子、履带、足式、可跳跃式等。轮子是最常见的一种结构，本设计首先选择轮子（图 4.14）。

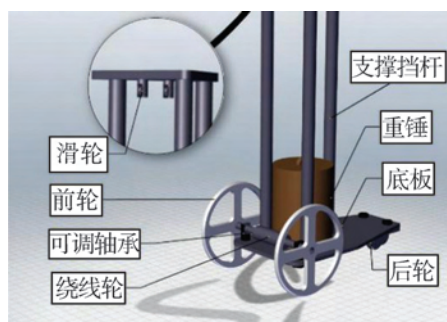


图 4.14 选轮子作为行走机构

轮子因厚薄、大小、材料的不同而不同，因此需要综合考虑。由摩擦理论可知摩擦力矩与正压力的关系为

$$M = N \cdot \delta$$

对于相同的材料， $\delta$  为一定值。

而滚动摩擦阻力  $f = \frac{M}{R} = \frac{N \cdot \delta}{R}$ ，所以轮子越大，小车受到的阻力越小，因此能够走得更远。但由于加工问题、材料问题、安装问题等，具体尺寸需要进一步分析确定。

由于理论分析与实际情况有差距，只通过理论分析能够得出较优的方案而不能得到最优的方案。因此同学们可以先设计一种机构简单的小车，通过小部分的改动便可以转换成其他方案，再通过试验比较得到最优的小车。多次试验并总结规律是最终获得较好成绩的重要途径。



#### 探究与交流

- (1) 你们选择三维打印技术加工的两个（或多个）零部件是\_\_\_\_\_。  
 \_\_\_\_\_。  
 为什么？\_\_\_\_\_。
- (2) 体验完整的无碳小车设计、制作过程，并记录实验数据。

小车编号	小车质量	车轮外径	车轮材质	行走距离	影响因素分析

## 本章小结

综合利用前三章所学习的三维设计知识，对具体案例进行技术分析和设计实践。学习和了解“无碳小车”的项目要求，明确测试流程。

针对“无碳小车”的案例进行技术准备，技术分析，形成设计思路。

明确设计方案，完成技术分析报告，包括创意来源、结构设计、设计原则、主要创新方法及创新点和设计草图等部分。

重点学习体验“无碳小车”的设计与制作过程，对车体的车架、原动机构、传动机构、行走机构进行设计分析与制作。

## 学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	听课状态			
		回答问题			
		小组讨论			
	实践活动	了解设计要求			
		设计整体思路			
		动手设计方案			
结果评价	目标实现	设计是否符合要求			
		能否多角度验证设计思路			
		是否全程参与设计制作			
	收获反思	收获感悟			
		反思不足			

## 附录 部分中英文词汇对照表

---

三维打印	three dimensional printing
增材制造	additive manufacturing
减材制造	subtractive manufacturing
材料累加制造	material increase manufacturing
快速原型	rapid prototyping
分层制造	layered manufacturing
实体自由制造	solid free-form fabrication
熔融沉积成型	fused deposition modeling
光固化成型	stereo lithography appearance
聚醚醚酮	polyether-ether-ketone
三维粉末黏合成型	three dimensional printing and gluing
选择性激光烧结成型	selecting laser sintering
计算机辅助设计	computer - aided design
计算机辅助制造	computer-aided manufacturing
三维建模	three dimensional modeling
逆向工程	reverse engineering
产品设计	product design
运动模拟	motion simulation
无人机	unmanned aerial vehicle
物联网	internet of things
参数化设计	parametric design
技术	technology
分析	analysis