

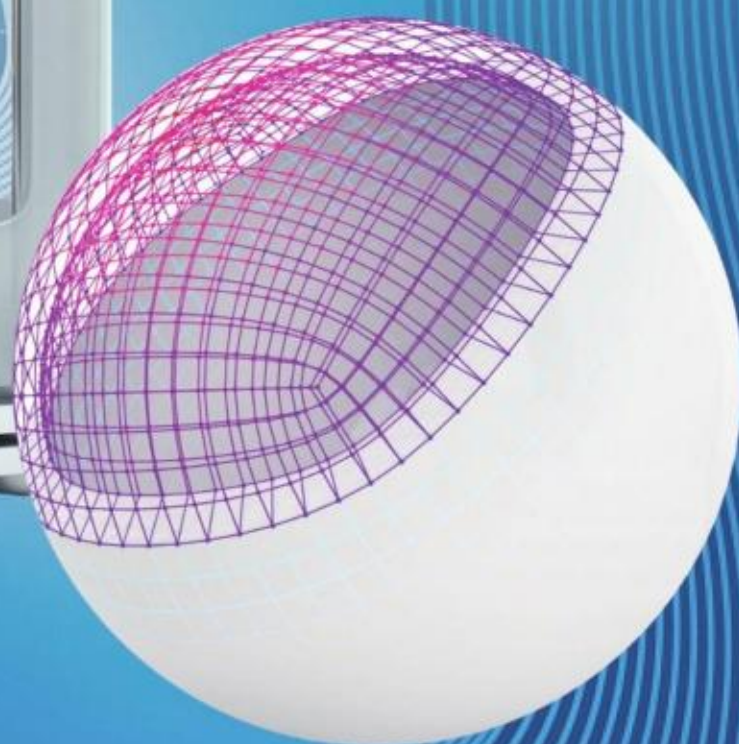


普通高中教科书

通用技术

选择性必修

产品三维
设计与制造



人民教育出版社

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

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

人民教育出版社

· 北京 ·

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

总 主 编：褚君浩

副 主 编：朱志勇

本册主编：张 杰

编写人员：许建华 张 杰 陈 莹 孟会真

周 晨 黄 瑾 路叶燕

责任编辑：徐勇雁 鲁瑛奇

美术设计：胡白珂

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

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

出版发行 人民教育出版社

（北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081）

网 址 <http://www.pep.com.cn>

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

如发现内容质量问题，请登录中小学教材意见反馈平台：jcyjfk.pep.com.cn

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条中有关规定，我们已尽量寻找著作权人支付报酬。

著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由全景网、视觉中国等图片网站提供。

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

通用技术是一门联系科学规律和技术应用的课程。人类在生产实践和科学实验的过程中，获得了知识，掌握了规律，形成了技术，进而在工程任务中利用技术，提升生产实践和科学实验的水平。实践—认识—再实践—再认识，这样的过程循环反复，人类的科学技术不断提升，社会生产力不断发展。

世界是物质的，物质是运动的。在我们周围充满着物质的多种多样的运动形式，除了常见的机械运动，还有光、声、热、电、磁、分子、原子、基本粒子、生命运动等。人们在观察和研究物质的这些运动形式时，发现了规律，运用规律发明了技术，相应产生了机械技术、光技术、声技术、热技术、电技术、磁技术、分子技术、核技术、生物技术等。这些技术分别或者集成起来在多类工程任务中得以应用，涉及机械工程、土木工程、热力工程、电子工程、光学工程、能源工程、环境工程、生物工程、航空航天工程、海洋工程、地质工程等。典型的工程，包括南浦大桥、世博会的中国馆、虹桥枢纽屋顶上的太阳能发电站、C919大飞机、风云四号等大工程，也包括制造服装、烹饪菜肴、室内装修、三维打印零件等小工程。工程任务完成后制造出各类产品，应用于社会方方面面不同领域，为社会创造财富。从事这些工作的勤奋踏实而富有创新精神的劳动者，成为了基础扎实的工程师和精益求精的工匠，他们是我们学习的楷模。

我国古代人民的发现和发明造就了中国科学技术的辉煌历史，不仅有指南针、造纸术、印刷术、火药等重要发明，还有以都江堰水利工程、传统木建筑的榫卯结构等为代表的水利、天文、建筑、铸造、纺织、陶瓷、冶金、航海等古代科学技术，这些杰出的技术是中国古代科技文明的精粹，对人类文明发展和社会生产力的进步产生了巨大推动作用和深远影响。

技术是人类利用自然规律实现某种功能和目标的一种能力，它的背后是科学规律，它的前面是工程任务。工程任务有明确目标，技术在完成工程任务中实现它的价值。例如，根据牛顿第三定律可以利用作用力的反作用力推进物体，这一原理可以用于火箭工程，再运用万有引力定律，可以发射地球卫星，甚至把嫦娥四号送到月球背面。技术的价值在工程任务中得到充分体现。

把技术应用于工程，就要遵循工程的规范。实现技术的应用，完成一项工程任务，首先要明确这项工程的具体目标，提出完整可行并有创新的设计方案。设计方案又涉及工程目标物的结构、工艺流程、组成系统、设计意图控制等。方案的具体内容要用技术语言和图样表达出来，根据图样来操作加工，最后实现方案，完成工程任务。工程实施过程中的经验和教训，需要同行互相交流；是否完成了预期的目标要求，需要由外部专家和使用者的评价。工程交付后，还要经受时间和应用的评判。

同学们，新时代已经来临！新工业革命正在悄悄向我们走来。如同18世纪以机械化为特征的第一次工业革命、19世纪以电气化为特征的第二次工业革命、20世纪以信息化为特征的第三次工业革命，21世纪人类将开启以智能化为特征的第四次工业革命。人类

总是先在观察或实践中发现规律，在此基础上发明了技术，进而推动技术的应用与发展。人们发现了质能关系，发明核技术；发现了受激辐射规律，发明激光技术；发现了光纤中光传输规律，发明光通信技术；发现了电磁波规律，发明无线通信技术；发现了半导体光跃迁规律，发明半导体照明技术；等等。先进技术为构建人类绚丽文明打下基础。谁掌握了规律，谁发明了技术，谁就获得了主导权。智能制造是新工业革命的重要特征，而通用技术是智能制造的基础课程之一。同学们，机遇和挑战在等待着我们！

通用技术课程必修内容包括“技术与设计1”“技术与设计2”2个模块，它们分别从技术和设计的角度阐述通用技术的一般概念，并通过实践来帮助同学们体验技术与设计的内涵。选择性必修内容包括“技术与生活”“技术与工程”“技术与职业”和“技术与创造”4个系列11个模块。整体框架由图0-1表示。学习这门课程要注重掌握概念和加强实践，尤其要通过动手实践，来培养自己的技术意识、工程思维、创新设计、图样表达和物化能力等核心素养。

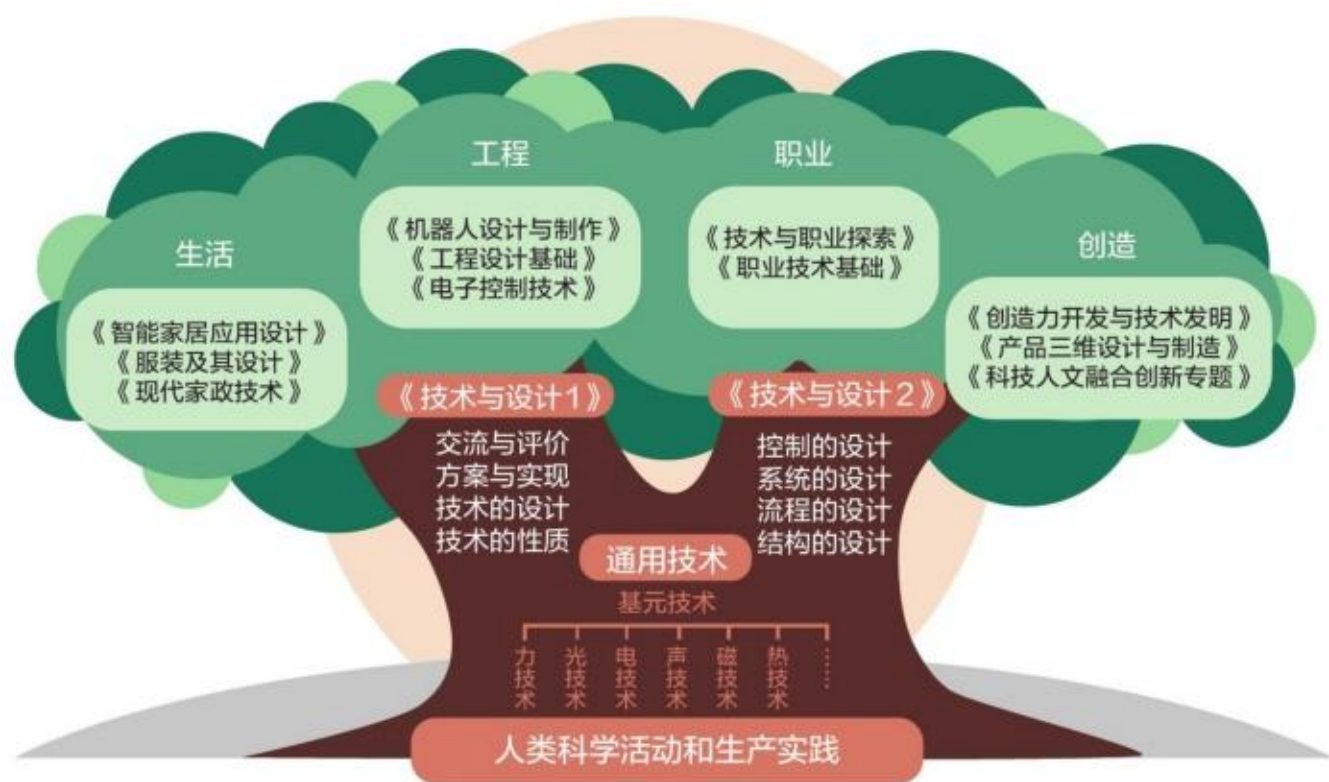


图 0-1 课程内容整体框架

《产品三维设计与制造》共有四章，分别从三维打印原理、三维打印产品技术分析、三维模型设计、三维打印技术应用进行阐述。

三维打印技术是一种基于三维CAD模型数据，通过增加材料逐层制造三维物理实体模型的技术。目前，三维打印技术在医疗、产品原型、文物保护、建筑业、制造业、军工、艺术设计、食品产业等领域都得到了广泛的应用。

同学们学习《产品三维设计与制造》，能了解三维打印技术发展历史及最新技术的发展动向；通过学习三维设计软件，能将设计方案转换成三维数字模型，并对其进行优化、渲染和测试，培养空间想象能力和创新精神；通过使用三维打印机将产品的三维设计进行物化，感受产品生产带来的成就感。通过项目学习的方式，综合运用这些技术与方法，有利于提高解决实际问题和创新实践的能力。

第一章 三维打印原理 1

第 1 节 三维打印技术概述 2

第 2 节 三维打印机的操作 6

第二章 三维打印产品技术分析 13

第 1 节 三维打印产品设计制造方案 14

第 2 节 三维打印产品设计分析与打印分析 21

第三章 三维模型设计 27

第 1 节 简单模型设计 28

第 2 节 模型测试与优化 40

第 3 节 组合模型设计与切片 52

第四章 三维打印技术应用 69

第 1 节 组合结构的产品制造 70

第 2 节 三维扫描与打印 84

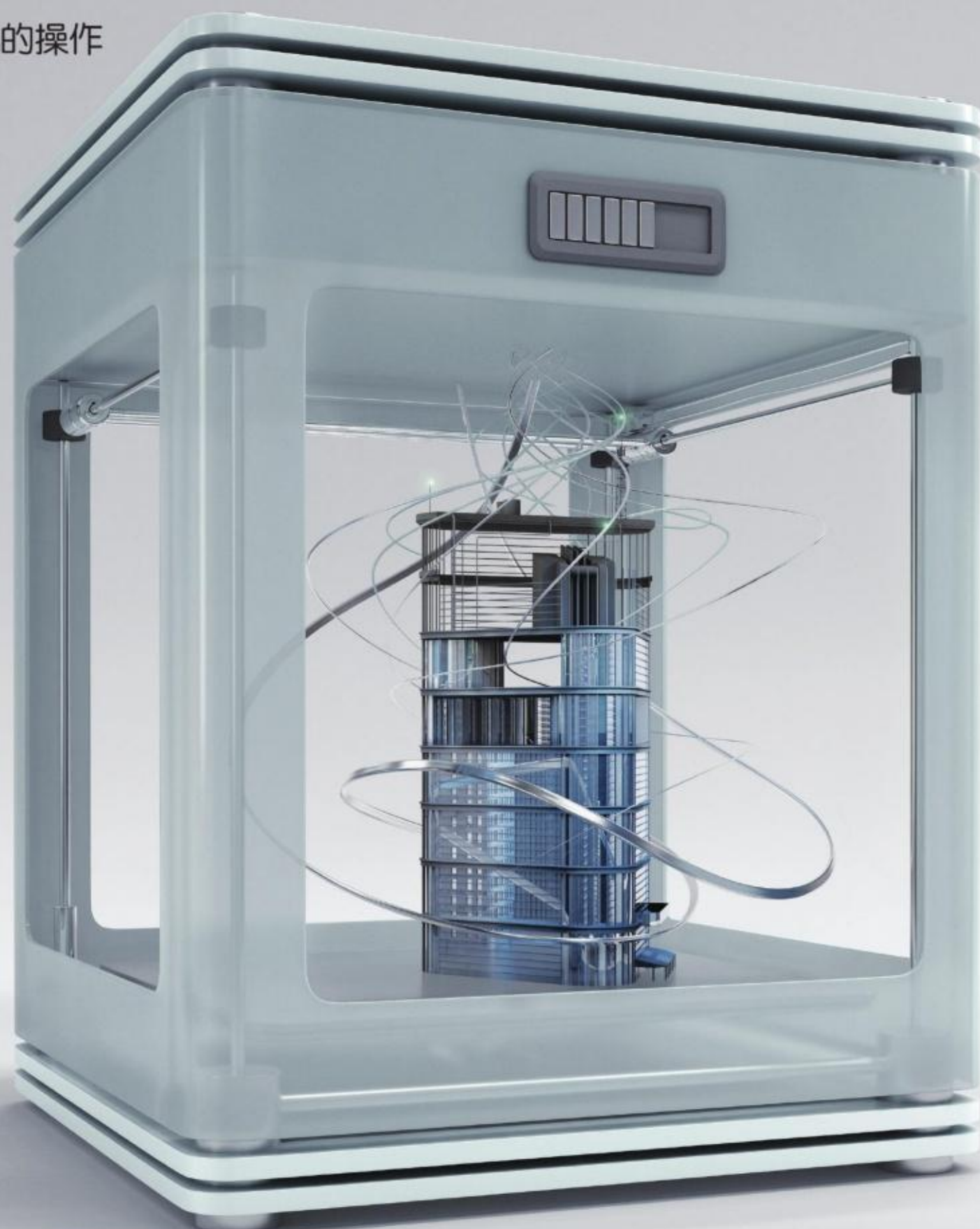
第一章 三维打印原理

三维打印，又称3D（Three-Dimensional）打印。随着战略性新兴产业发展壮大，许多应用领域都出现了三维打印的产品，小到钥匙扣，大到航天设备上的某个特殊部件，三维打印产品在我们生产生活中的应用日渐增多，三维打印产品的设计与制造也成为一个新兴产业。

通过本章的学习，你将了解三维打印技术的原理、发展历程和应用领域，理解三维打印技术应用的普遍性，了解基于熔融沉积成型工艺的三维打印机的运行过程和所受的技术限制，了解获得三维打印模型数据的途径，知道如何正确、安全地操作三维打印机，逐步提升技术意识。

第1节 三维打印技术概述

第2节 三维打印机的操作



第 1 节 三维打印技术概述



学习目标

1. 了解三维打印技术的历史。
2. 了解三维打印技术的原理。
3. 了解三维打印技术的应用领域。

任何一门新技术的形成都不是一蹴而就的，都会经历一个从出现到日渐成熟的发展过程。三维打印技术从构想萌芽到快速发展经历了一个多世纪的时间，它将为各行各业带来新的发展机遇。

目前，运用三维打印技术（图1-1）制造产品与传统制造技术（如车、铣、磨、钻等，如图1-2所示）相比，具有产品造型结构多变、耗材利用率高、生产过程简化、成型速度快等许多优势，但同时也存在生产成本高、打印时间长、材料选择面窄、制造效率不高等一系列的问题。究竟什么样的产品适合运用三维打印技术制造？

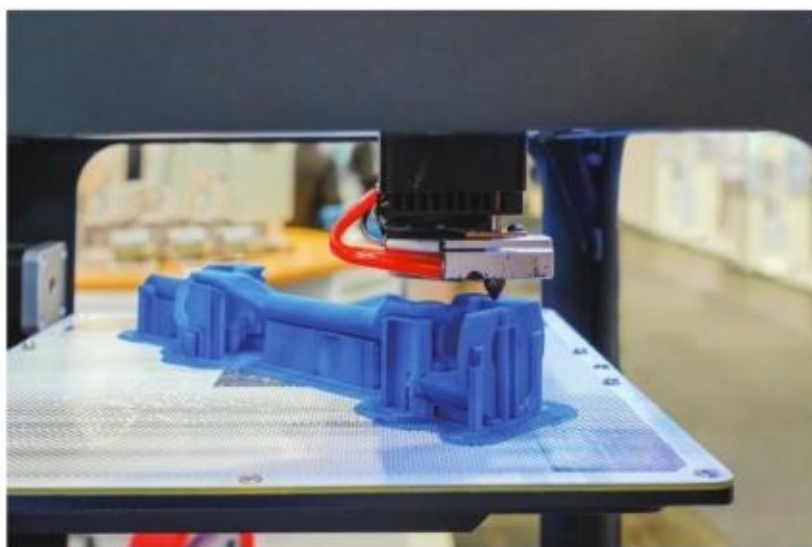


图 1-1 三维打印技术



图 1-2 传统制造技术

判断一个产品是否适合运用三维打印技术制造，首先要了解三维打印技术的原理。

一、三维打印技术的原理

三维打印技术，又称增材制造技术，属于快速成型技术的一种。制作蛋糕时的裱花过程就是增材制造的一种形式。三维打印技术是以数字模型文件为基础，通过逐层打印可黏合材料（如特殊蜡材、粉末状金属或塑料等）构造三维物体，概括地讲就是“分层制造，逐层叠加”。

三维打印技术将机械、材料、计算机、通信、控制、生物、医学等技术相结合，是一种新型的制造工艺。随着时代的发展，利用三维打印技术，可以将虚拟的数字模型快速地制造出来，得到个性化的产品，尤其是形状复杂、结构精细的物体。



拓展阅读

制造技术除了增材制造技术，还有等材制造技术和减材制造技术。

在制造过程中使用等材制造技术，基本上不改变材料的量，或者改变的量很少。典型的等材制造技术有铸造、焊接、锻压等。

使用减材制造技术对毛坯进行加工，要去除多余的材料，使毛坯由大变小，最终形成所需要

形状的零件。典型的减材制造技术有车削加工、钻削加工、磨削加工等金属切削加工技术。

相对于传统的等材或减材制造技术，增材制造技术即三维打印技术，是采用将材料逐层累加的方法制造实体零件的技术，是一种“自下而上”的制造方法。



案例

运用传统手工技术与三维打印技术制作牙冠

运用传统手工技术制作牙冠（图 1-3），首先要根据患者的口腔印模灌注出石膏模型，其次根据石膏模型制作出烤瓷牙的蜡型，最后进行金属牙冠的铸造，主要包括铸道安装、包埋、失蜡、铸造等步骤。

在加工过程中，制作蜡型的蜡容易收缩变形；在后续的热加工环节，铸造牙冠的金属材料也会产生变形。因变形引发尺寸偏差的牙冠需要返工，这将致使患者的就医时间增加，牙冠的加工成本增加。运用传统手工技术制作牙冠的效果主要取决于牙科技师的个人技术和经验。

三维打印技术制作的牙冠采用金属粉末为加工材料，通过数字化口腔模型扫描、建模、三维打印等步骤完成制作。在口腔模型的扫描、建模之后，金属牙冠的生产全部是由数字化技术来完成的。

传统手工技术与三维打印技术制作牙冠的工艺步骤比较如表 1-1 所示。

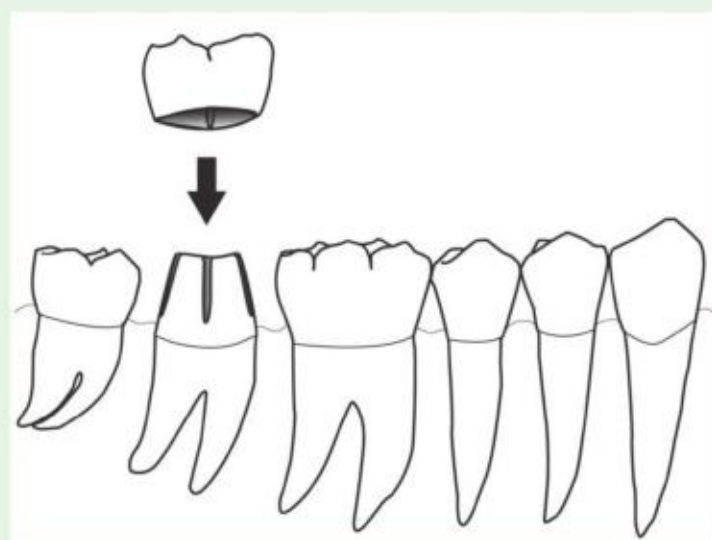


图 1-3 牙冠

表 1-1 传统手工技术与三维打印技术制作牙冠工艺步骤比较

传统手工技术	印模/模型、蜡型、铸道安装、包埋、失蜡、铸造、表面处理、饰面、完成
三维打印技术	印模/模型、扫描、建模、三维打印加工、饰面、完成

讨论 & 交流

通过牙冠的制作案例，结合三维打印原理，你认为三维打印产品与传统手工产品在制作工艺上有什么区别？

二、三维打印技术的应用领域

三维打印技术可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转化为具有一定功能的原型或零件，为原型和零件的制作、新设计思想的校验等提供了一种高效率、低成本的实现手段。随着基础研究和原始创新不断加强及制造业技术的进步，三维打印技术在各行各业中的应用将会越来越广泛。现在，它在消费电子产品、汽车、航空航天、医疗、军工、地理信息、艺术设计等方面都得到了广泛的应用。在不久的将来，三维打印机或许也会像计算机、手机一样进入我们的学校和家庭。

案例

行业创新

三维打印桥梁

2019年1月12日，一座大规模的三维打印混凝土桥梁在上海落成启用，如图1-4所示。这座桥长26.3 m，拱长14.4 m，宽3.6 m，借鉴了我国古代赵州桥的单拱承重结构。该桥采用三维实体建模进行设计，桥体由桥拱、桥栏板、桥面板三部分组成。前期通过三维打印技术耗时450 h完成全部构件的打印，后期运用现代施工技术进行拼装。三维打印桥梁的落成体现了科技成果转化和产业化水平的提高。与同等规模的普通桥梁相比，三维打印桥梁的造价只有其三分之二。

三维打印概念轮胎

某公司研发了一款三维打印概念轮胎（图1-5）。这种轮胎的使用，将使轮胎维护大幅度减少，大大地提高车辆的运营能力。



图1-4 三维打印桥梁



图1-5 三维打印概念轮胎

拓展阅读

三维打印技术的核心思想最早起源于19世纪末，经过科学家们不懈的努力，20世纪80年代，三维打印技术得以实现。回顾三维打印技术的发展历程，大致可以将其分为萌芽期、奠基期和爆发期。

（一）萌芽期

1860年，弗朗索瓦·威廉（François Willème）用24台照相机将物体环绕360度并进行拍照，然后使用与切割机相连的比例绘图仪绘制物体轮廓，再进行雕刻。

1892年，J. E. 布兰瑟（J. E. Blather）将地形图轮廓线印在一系列的蜡片上，并按轮廓线切割蜡片，将其黏合在一起进行处理，得到三维地形图。

（二）奠基期

20世纪最后30年是三维打印技术的奠基期，在此期间科学家们提出了现代快速成型技术的基本概念，形成了现代快速成型的核心技术，为三维打印技术的商业化应用奠定基础。

19世纪80年代，查尔斯·W. 赫尔（Charles W. Hull）获得了立体光固化成型（Stereolithography Apparatus, SLA）的专利，研发了立体光刻（Stereolithography, STL）文件格式。STL格式逐渐成为计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）及计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）系统接口文件格式的工业标准。1987年，商用SLA打印机推向市场，标志着三维打印商业化的起步。

1989年，S. 斯科特·克伦普（S. Scott Crump）提交了另一种三维打印工艺——熔融沉积成型（Fused Deposition Modeling, FDM）的专利申请。同年，卡尔·R. 德卡德（Carl R. Deckard）的

选择性激光烧结成型（Selective Laser Sintering, SLS）获得专利。SLS工艺支持多种材料成型，如尼龙、蜡、陶瓷和金属。三维打印生产走向多元化。

1992年，第一台基于FDM工艺的三维打印机面世，标志着FDM工艺步入了商用阶段。

1993年，伊曼纽尔·M. 萨克斯（Emanuel M. Sachs）的三维印刷工艺（Three-Dimensional Printing, 3DP）获得专利，3DP工艺通过黏结剂把金属、陶瓷等粉末黏合成型。

（三）爆发期

2001年，桌面级三维打印机面世。价格低廉的成型材料使三维打印机更趋于民用化。

2005年，第一台高精度彩色三维打印机出现，让三维打印走进了彩色时代。

2008年，第一款开源的桌面级三维打印机发布，为三维打印机普及浪潮揭开了序幕。

2012年，第一台廉价的高精度SLA消费级桌面三维打印机发布。

2013年以来，三维打印技术（图1-6）已进入爆发式增长阶段，新技术、新材料及新型应用成果陆续发布，三维打印领域呈现百花齐放的盛况。

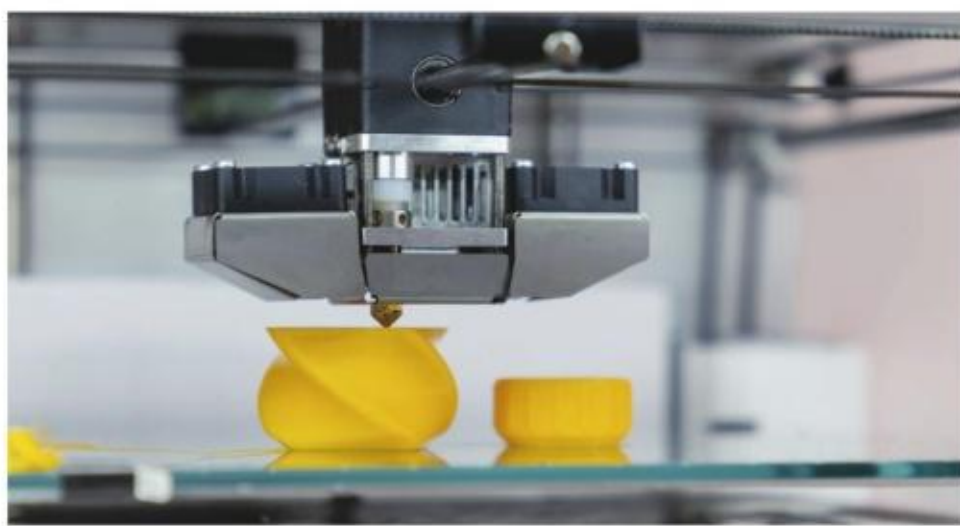


图1-6 三维打印实体零件

思考 & 练习

1. 谈谈你见到过的三维打印产品，借助幻灯片进行一次三分钟的讲解。
2. 你还知道哪些应用三维打印技术的案例？请选择一例进行简单介绍。

第 2 节 三维打印机的操作

学习目标

1. 了解三维打印的实施流程。
2. 了解基于FDM工艺的三维打印机的运行过程。

三维打印技术需要通过三维打印机来实现。三维打印机的运行过程类似于传统打印机，只不过传统打印机是把墨水打印到纸上形成二维的平面图，而三维打印机则是把液态光敏树脂材料、熔融的塑料丝、石膏粉等通过光固化、挤出或喷射黏结剂等方式层层叠加形成三维实体。

在进行立体几何的教学时，数学教师需要定制一个垂直截面为如图1-7所示的梯形、厚度为30 mm的几何体模型来做教具。这个教具可以用三维打印技术来制作吗？如果可以，它的实施流程和打印过程又是怎样的？

根据已学的三维打印原理，可以初步判断，该几何体可以运用三维打印技术制作。如何制作？具体步骤是什么？要解决这些问题，需要先了解三维打印的实施流程和打印过程入手。

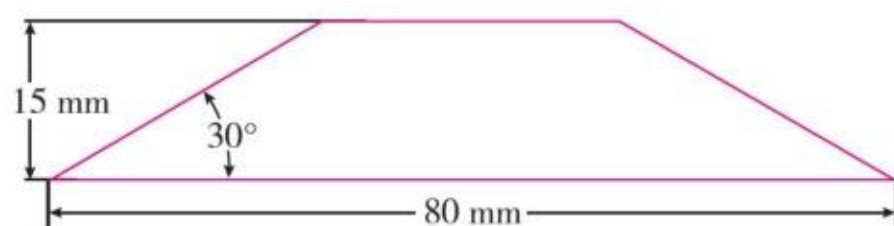


图 1-7 几何体模型垂直截面

一、三维打印的实施流程

三维打印是如何将一个数字模型文件变成一个真实立体模型的呢？下面通过图1-8来了解一下三维打印的实施流程。

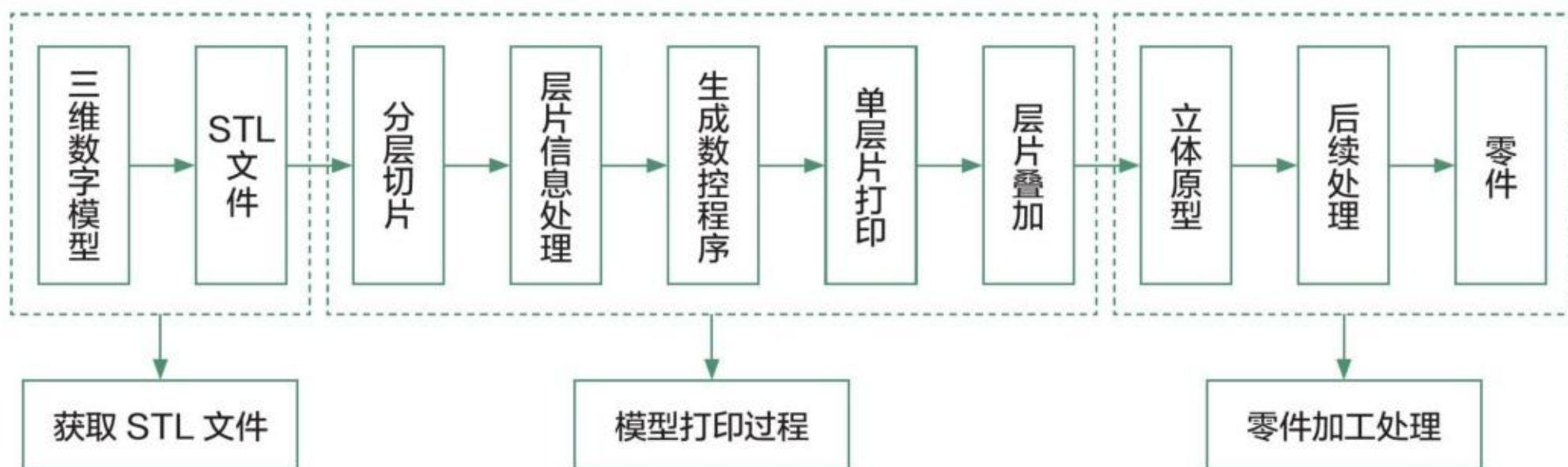


图 1-8 三维打印的实施流程

三维打印的实施流程可细分为十个步骤，这十个步骤又可归纳为三个部分，即获取STL文件、模型打印过程、零件加工处理。

（一）获取STL文件

STL文件格式，是目前三维打印制造设备使用的通用接口格式。通常，我们可以通过两个步骤获取STL文件，首先是获取一个三维数字模型，然后将三维数字模型转换成STL文件。以下是三种获取STL文件的途径。

1. 通过三维建模获取STL文件

大部分三维设计软件，在进行三维数字模型创建之后，都可以导出STL文件。

2. 通过三维扫描获取STL文件

三维扫描仪（3D scanner）是一种科学仪器，主要功能是获取真实空间中实际物体的形状信息，将其数字化后直接输入计算机。通过配套的软件将此数字信息组织和整理后转换成STL文件，随后便可进入模型打印环节，如图1-9所示。



图1-9 通过三维扫描获取物体信息并打印模型过程示意图

3. 通过网络下载STL文件

目前网络上已经有很多比较成熟的三维数字模型网站，这些网站会提供一些可下载的STL文件。通过网络查找并下载STL文件是较方便快捷的途径，但是数字模型的造型也相对单一、模式化。

（二）模型打印过程

首先，运用专用软件对STL文件进行切片分析，并生成一个切片文件。

然后，使用三维打印机进行打印。将切片文件输入三维打印机（图1-10）内，操作打印机，使打印机开始预热。显示面板中会显示当前温度，待喷头和打印平台升温至设定温度时，打印平台缓慢上升直至碰到喷头，正式开始打印。打印过程中可观察显示面板，对打印情况进行实时监控。

最后，打印结束，喷头自动归位。为了便于

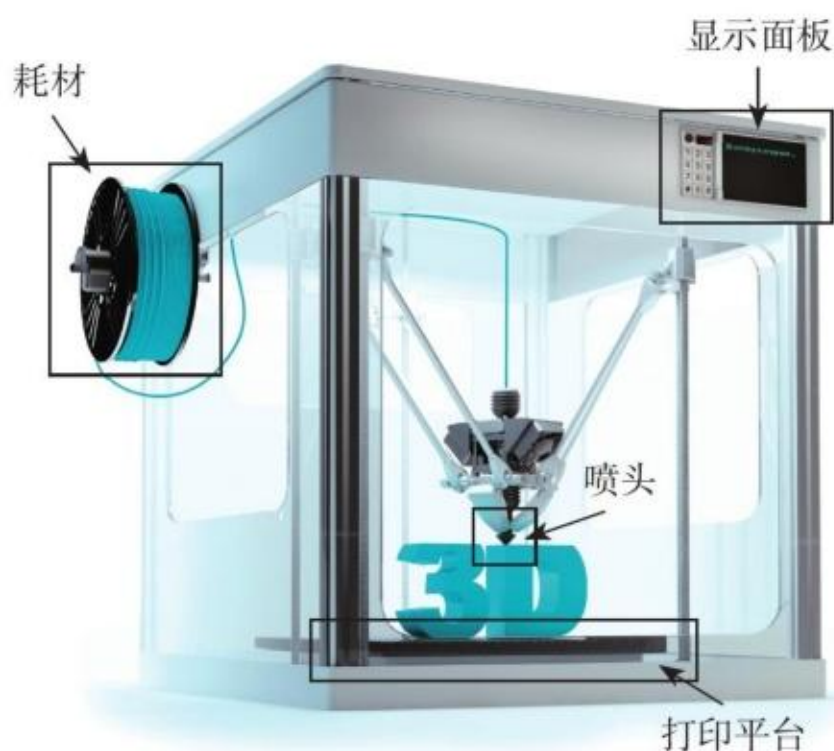


图1-10 三维打印机

取下打印好的模型，可以先将打印平台拆下，然后用专用的铲刀将模型从底部铲起，从打印平台上取下。



图 1-11 去除打印支撑

（三）零件加工处理

由于三维打印机使用的打印材料以及打印精度不同，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，如图 1-11 所示。如果打印精度不够，物体上会有毛边或多余的棱角，后期处理可以解决这些问题。

二、三维打印机的运行过程

三维打印技术可以分为很多种，比较常见的有熔融沉积成型（FDM）工艺、立体光固化成型（SLA）工艺、选择性激光烧结成型（SLS）工艺等。在此以 FDM 工艺为例，介绍一下 FDM 三维打印机的运行过程。

基于 FDM 工艺的三维打印机运行过程示意可参考图 1-12，具体如下：将丝状材料由供丝机构送至喷头，加热至熔融状态，然后选择性地涂覆在打印平台上，快速冷却后形成截面轮廓；一层成型完成后，喷头上升一个截面层高度，再进行下一层的涂覆，如此循环，最终形成三维零件。

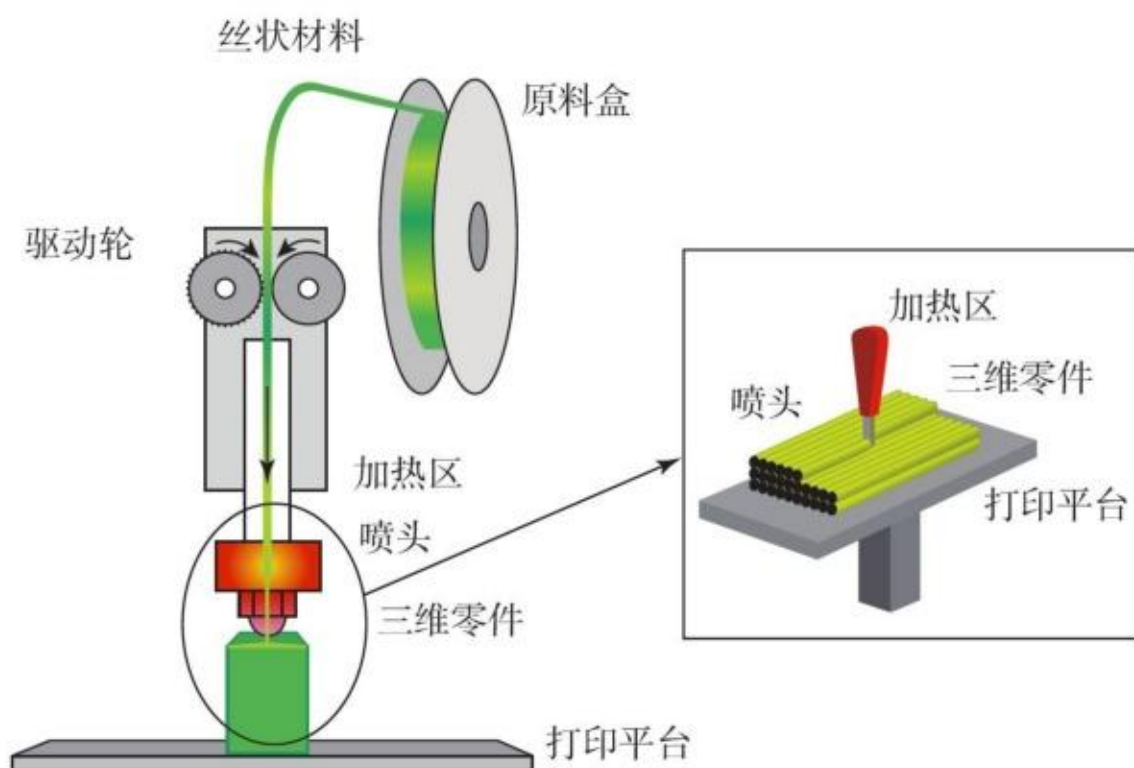


图 1-12 FDM 三维打印机的运行过程示意图

讨论 & 交流

通过对三维打印的实施流程和三维打印机运行过程的学习，你认为数学教师需要的这个几何体模型应如何用三维打印技术制作？请简述操作过程。

设计 & 操作

请尝试运用获取STL文件的三种途径中的一种，帮助数学教师获取所需的几何体模型STL文件，并用三维打印机打印该模型。

拓展阅读

进行三维打印操作前，需要进行一些调整。

首先，是调整模型的放置方向。基于FDM工艺的三维打印过程是一个自下而上的塑形过程，模型的上层结构必须要有下层部分的支撑，如图1-13所示。如果模型的某些部位在打印时有可能悬空，就需要在打印前设计支撑结构或者改变模型的放置方向，避免悬空部位塌陷。

其次，是调整模型的尺寸。在模型设计的过程中，会出现原始尺寸与打印模型所需的尺寸不一致的情况。我们可以在打印前重新设定模型的尺寸，使之符合我们的需求。

最后，是调整打印的位置。打印位置的调整分X、Y、Z三个轴线方向上的调整，其中最重

要的是Z轴方向的调整，它决定了模型与打印平台的贴合程度。如果Z轴方向出现问题，就有可能出现悬空打印的情况，导致打印失败。

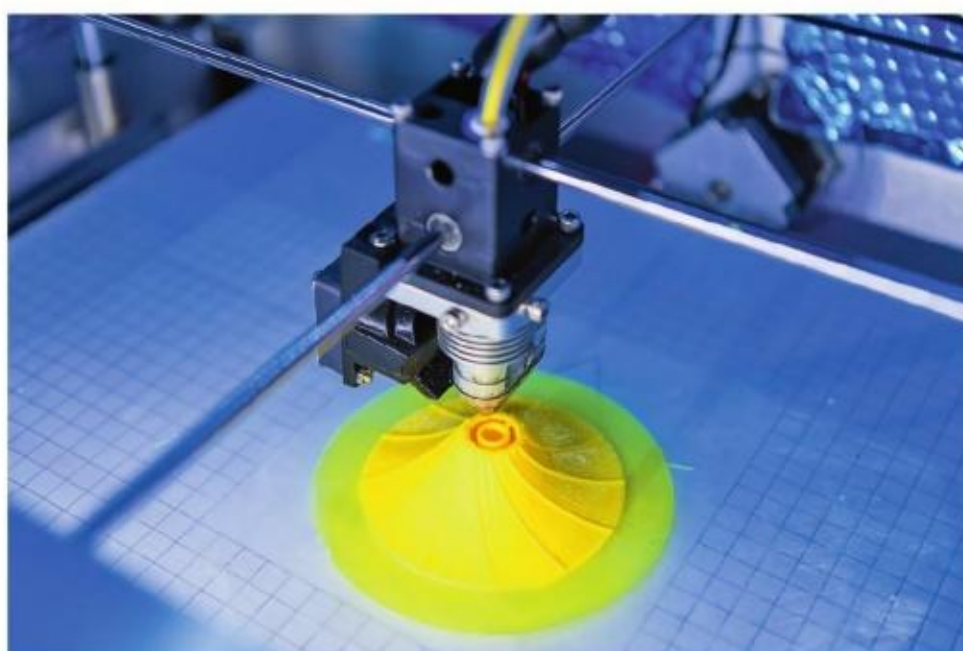


图1-13 有下层部分支撑的模型打印

思考 & 练习

1. 在运用三维打印技术完成几何体模型的制作之后，请思考：在打印过程中，有哪些应该注意的问题？有哪些专业网站可以下载STL文件？可以用什么软件对STL文件进行分层切片？
2. 请你在图1-14中，选择你认为能够一次打印成型的模型，并给出理由。

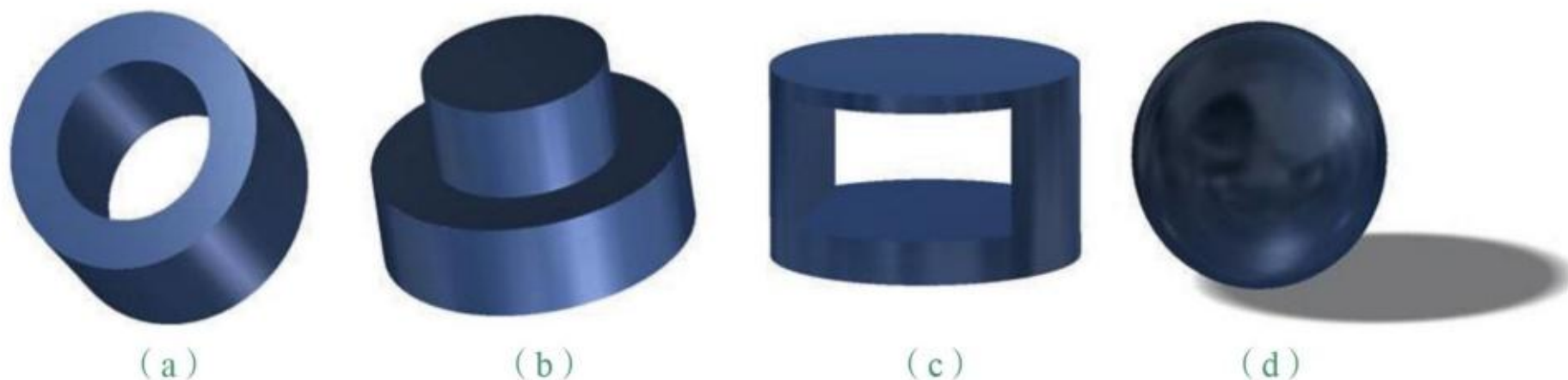


图1-14 三维打印模型



本章小结

三维打印技术与传统制造技术的主要差别体现在制造过程中材料的增减上，三维打印技术的特有优势也体现在增材制造的加工方式上。例如，可以很大程度地利用原材料，制造传统技术无法实现的特殊结构的产品，因节省开模费用而在小批量生产上具有成本优势，在产品研发过程中可以快速制造样机等。

三维打印技术的这些优点无疑是传统制造技术所不具备的。但是，我们还要考虑三维打印在规模制造中的经济性这一关键指标。

三维打印设备很难做成通用设备，有些场合要根据不同的打印材料更换相应的喷头，甚至打印机。这种非通用的特点削弱了三维打印的分布式制造的优势，毕竟，并不是所有三维打印的支持者，都有经济实力来购置多台三维打印设备。

既然三维打印技术无法完全替代传统制造技术，那么，从产业高度看，传统制造技术和三维打印技术就应该是互补技术，只不过在不同的制造领域或者制造不同的产品时，两者在制造过程中的工艺占比不同。

本章学习评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
三维打印技术概述	说出三维打印技术的原理			
	说出三维打印技术产生的时间			
	说出一个应用三维打印技术的案例			
三维打印机的操作	画出基于FDM工艺的三维打印机的运行过程图			
	说出获取STL文件的三种途径			

等级标准：A —— 优秀，B —— 良好，C —— 合格，D —— 待改进

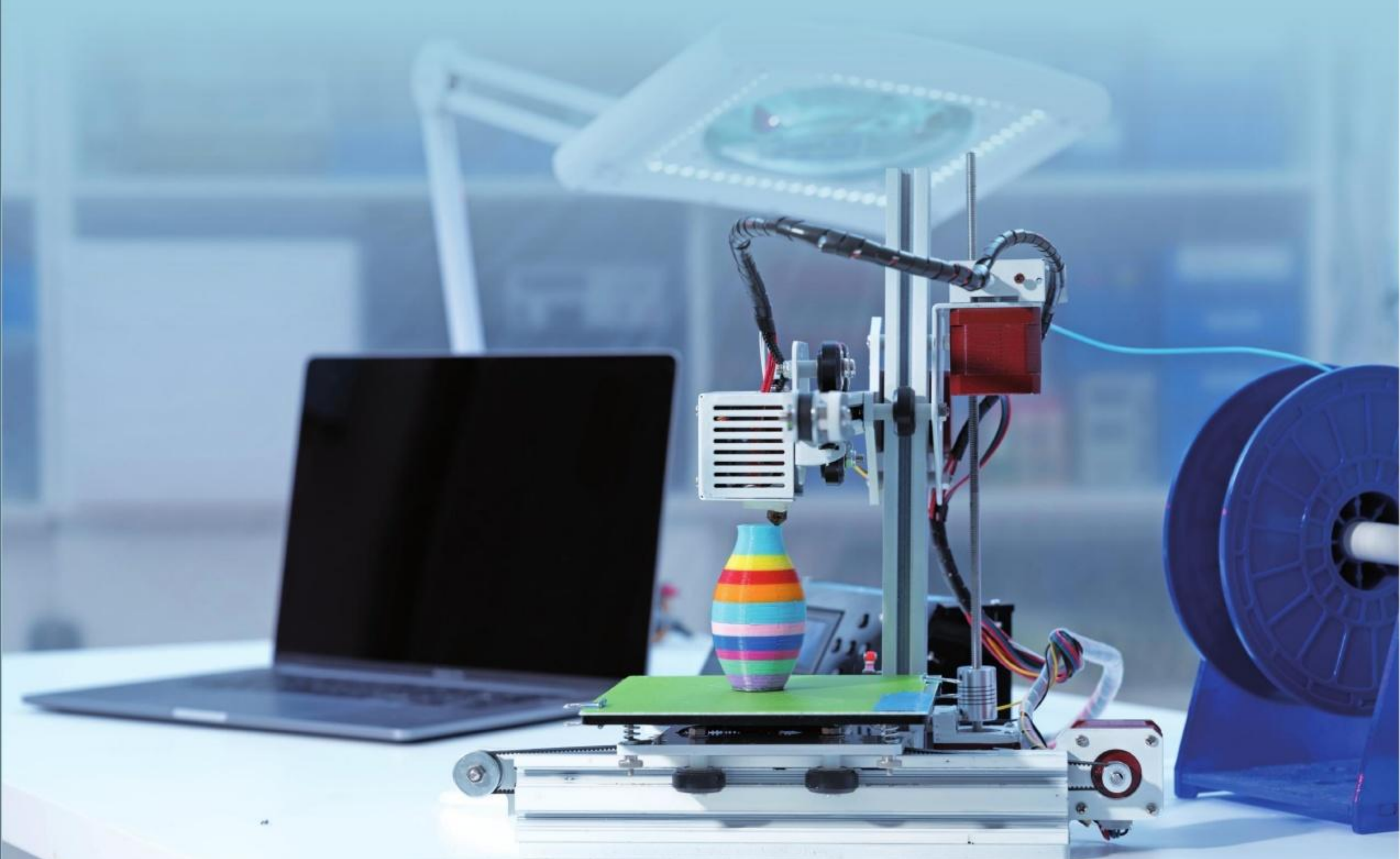
第二章 三维打印产品技术分析

我们的世界里有形形色色的三维打印产品，它们使我们的生活更加丰富多彩。生活中的产品有多种制造方式，从这一章开始，我们将重点学习三维打印产品的设计与制造。

通过本章的学习，你将了解三维打印产品设计与制造方案的构思方法、编制过程，初步学会根据发现与明确的问题构思方案、编制方案、比较与优化方案，最终确定解决方案。你将了解三维打印产品技术分析的方法，并能结合FDM工艺的特点，对三维打印产品进行技术分析，从而形成一定的工程思维，提升分析问题、解决问题的能力。

第1节 三维打印产品设计制造方案

第2节 三维打印产品设计分析与打印分析



第 1 节 三维打印产品设计制造方案

学习目标

1. 了解三维打印产品设计与制造的一般流程。
2. 了解三维打印产品设计与制造方案的构思方法、编制过程，初步学会根据发现与明确的问题构思方案、编制方案。
3. 初步学会比较、权衡和优化方案，最终确定解决方案。

三维打印产品的产生需要经历设计与制造两个环节，这两个环节的一般流程是：发现与明确问题—制订设计制造方案—制作模型—测试、评估及优化—批量生产或个性化制造。

三维打印产品的设计与制造遵循产品设计与制造的一般流程，但需考虑加工技术与方法、加工设备与材料等方面与传统工艺的区别，要根据设备、材料、工艺、成型特点及价格等综合因素制订设计制造方案。新材料、新技术、新工艺使个性化设计与制造成为可能，使产品更具有个性，突显了概念化、差异化的特征，满足了人们追求多样化的心理需求。请你观察图2-1所示的三维打印产品，说一说它们有什么特点。如果你来设计制造这些产品，制订方案时会考虑哪些因素？



图2-1 各式各样的三维打印产品

三维打印产品的设计与制造要基于需求，在发现与明确问题的基础上，通过构思方案、编制方案、比较方案，最终形成设计制造方案，为打印实物奠定坚实的基础。

一、构思三维打印产品设计制造方案

三维打印产品在构思设计制造方案时，需要考虑产品设计、加工设备及材料等因素，明确制造的条件，以确保构思的产品可以制造。构思的方案应包含方案名称、编制人员、产品要求、产品构思等关键要素。可以用头脑风暴法开展小组讨论，集思广益；可以用列举法罗列研究对象各方面特征；还可以用设问法多角度提出问题，找到解决问题的突破口。从原理、结构、功能、造型、工艺、材料等各个方面突破思维限制，开展设计，构思方案。



案例

构思多功能手机支架设计制造方案

发现问题：小明有一个简易的手机支架，这个支架功能较单一，且无法满足小明将手机竖放的时候一边充电一边观看视频的需求。小明想购买或自己设计制造一个不仅能放置手机、迷你平板电脑，还能放几支笔，且有充电线插头插入位置的多功能手机支架。

明确问题：小明到商店实地查看，发现没有符合他要求的多功能手机支架。小明通过网络查找，发现某网站有各式各样的手机支架，但也没有同时满足这几种功能的手机支架。这说明有必要自己设计制造多功能手机支架。表2-1为小明初步构思的多功能手机支架设计制造方案。

表2-1 构思多功能手机支架设计制造方案

方案名称	多功能手机支架	编制人员	小明
产品要求	(1) 可放置手机、迷你平板电脑、笔，放置电子设备的位置均有凹槽可让充电线插头插入。 (2) 有防滑设计，防止手机或迷你平板电脑滑落。 (3) 支架满足安全要求，放置物品后平稳。 (4) 手机或迷你平板电脑放置后观看视频角度适中。 (5) 制造周期短，打印时间不超过6 h，材料成本不超过10元。		
产品构思	采用列举法罗列研究对象各方面特征。 (1) 功能：是否多样化，是否能满足需求。 基本功能：可放置手机、迷你平板电脑——两侧设计支撑架；有充电线插头插入位置——两侧设计充电线凹槽；可放2~3支笔——设计笔筒。 (2) 结构造型：是否稳固、安全。 对称设计：重心靠下，扩大支撑面。防滑设计：支撑部位设计挡板，倾斜角度合理。 (3) 材料：是否方便易得、符合环保要求。 方便易得：市场可购买ABS材料（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）、PLA材料（聚乳酸）、光敏树脂材料。环保要求：无毒无味。 (4) 设计制造：是否具备软件、硬件条件。 软件条件：设计软件、切片软件。硬件条件：三维打印机、打印材料、电脑等。 (5) 打印时间及材料成本：是否符合预期。 打印时间：不超过6 h。材料成本：不超过10元。		



常见的三维打印材料

ABS 材料：丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（Acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS）是常用的三维打印材料之一，其电绝缘性、耐磨性、尺寸稳定性、染色性都较好，缺点是热变形温度较低、可燃。

PLA 材料：聚乳酸（Polylactic Acid, PLA）是以乳酸为主要原料聚合得到的聚合物，使用可再生的植物资源（如玉米）所提炼出的淀粉原料制成，可以生物降解，是一种环保的材料。其生物相容性、光泽度、透明性较好。相比 ABS 材料，在使用 PLA 时，一般情况下不需要预先加热底板，更简单方便。

光敏树脂材料：光敏树脂是 SLA 工艺的重要原料，由聚合物单体与预聚体组成，其中加有光引发剂（或称为光敏剂），在一定波长的紫外光照射下会立刻引起聚合反应完成固化。光敏树脂的种类很多，有液态的、半固态的。使用光敏树脂的

SLA 工艺成型精度比 FDM 工艺高，可用于制作生物模型或医用模型。

亚克力材料：化学名称为聚甲基丙烯酸甲酯，又叫 PMMA（Polymethyl Methacrylate）或有机玻璃。亚克力材料可以打印出透明和半透明的产品，表面光洁度好。

尼龙铝粉材料：尼龙铝粉是 SLS 工艺的常用材料。尼龙铝粉是在尼龙的粉末中掺杂了铝粉，使打印出的三维零件有金属光泽。

不锈钢材料：不锈钢粉末采用 SLS 工艺进行三维烧结，具有很好的抗腐蚀性及机械性能，适用于制造功能性原型件和系列零件，被广泛应用于工程和医疗领域。

除了上面介绍的三维打印材料，目前用到的还有橡胶、陶瓷、石膏、人造骨粉、细胞生物原料、铁镍合金、钛合金以及砂糖等材料。

二、编制三维打印产品设计制造方案

编制方案是在发现问题、明确问题、构思方案之后，对问题提出系统的、具体的解决方案并进行规划，是解决问题的过程，是设计思路落到实处的体现。

编制三维打印产品设计制造方案需呈现产品的功能、结构、造型、规格、工艺、材料、制造方式等要素。可综合运用表格、文字、草图等编制方案，如表 2-2 所示。

表 2-2 编制三维打印产品设计制造方案

方案名称	编制人员
产品功能	（说明产品功能、设计拟解决的问题及创新之处）
产品加工方式（制造工艺）	（说明产品加工方式或制造工艺，需要组装的产品要说明组装步骤，如采用新材料、新技术、新工艺要进行备注）
产品制造条件	（说明产品制造需要的设备、工具、材料等情况）

续表

产品安全环保信息	(说明产品安全环保方面的情况)
产品设计准备及其他补充	(说明产品设计前期准备工作、预估存在的困难等)
产品草图(图样)	(绘制产品草图或图样,展示产品结构与造型,标明尺寸规格等)

案例

参照表 2-2,可编制多功能手机支架设计制造方案,如表 2-3 所示,并绘制产品草图。

表 2-3 编制多功能手机支架设计制造方案

方案名称	多功能手机支架	编制人员	小明
产品功能	产品功能:可同时支撑手机、迷你平板电脑;可放置 2~3 支笔;有充电线插头放置位置,可在手机或迷你平板电脑竖放时充电。 产品创新之处:除手机支架基本功能外,进行个性化设计制造,不仅可以使电子产品在竖放时充电,还可以放置笔。		
产品加工方式	产品加工方式主要有数控、手工、三维打印机打印等,这里采用三维打印机打印(FDM 工艺或 SLA 工艺)的方式进行制作。 多功能手机支架为一体结构,无须组装。		
产品制造条件	打印机:FDM 打印机、SLA 打印机。 打印材料:PLA 材料、ABS 材料、光敏树脂材料。		
产品安全环保信息	安全性:底部平整,重心位置靠下,支撑部分有防滑设计。 环保性:采用可降解材料打印,保证无毒环保。		
产品设计准备及其他补充	前期准备工作:测量使用的手机、迷你平板电脑的尺寸;测量充电线插头的尺寸;测量笔的直径与高度;测量观看视频时较舒适的倾斜角度范围。 可能存在的困难:对三维设计软件不熟悉,在设计的过程中可能无法将构思很好地表达出来。		
产品草图			

讨论 & 交流

上述案例中，多功能手机支架设计制造方案对产品名称、产品功能、产品加工方式、产品制造条件、产品安全环保信息和产品草图等信息进行了说明。你认为这些信息还可以如何改进优化，从而更加完整准确地对设计进行表达？

三、比较三维打印产品设计制造方案

三维打印产品的产生需要经历设计与制造两个环节。设计的安全性、合理性、创新性，制造的设备、材料、工艺等都将影响产品的质量。

设计制造方案往往有多种，需要在设计制造时比较权衡，选取满足需求的最优方案。产品优化的途径有许多：可以把复杂的模型进行模块化分解，再进行组装，从而减少打印支撑，降低成本；还可以在满足设计要求的基础上合理地设置填充率，节省打印时间，减少打印耗材。例如，设计制造一个带盖的茶杯，有以下两种方案。方案1，把茶杯和盖子合在一起设计打印；方案2，把茶杯和盖子分开设计，分开打印。方案1需要对茶杯内部进行完全支撑，耗费的时间和相应的成本较高，同时后期加工处理的成本也较高；而方案2只在打印杯盖时需要部分支撑，不仅节约材料，而且后期加工处理时间将大幅缩短。再如，设计台灯灯罩时，在保证强度的基础上，应尽量使灯罩薄一些，以减轻重量，同时能够节约打印材料、缩短打印时间，因此可以将填充率设置得低一些。

案例

比较多功能手机支架设计制造方案

以多功能手机支架设计制造为例，设计制造者可形成多种方案，可以选择不同类型的三维打印机打印产品，也可以选择同一台三维打印机，但使用不同的材料打印产品。设计制造者需要对多种方案进行权衡比较，选取最优方案。

下面，以相同填充率、相同壁厚、不同类型打印机、不同打印工艺的两种方案为例进行比较，如表2-4所示。

表2-4 不同方案比较1

打印工艺	精细度/mm	材料成本/元	打印时间/h	后期处理	环保
FDM	0.4	8	5~6	去除支撑，简便	环保
SLA	0.005	55	7~10	处理废液，烦琐	较环保

通过比较可以得知，FDM工艺打印的产品精细度低，比较粗糙，但材料成本低，打印时间短，后期去除支撑比较简便，而且环保。SLA工艺打印的产品虽然精细度高，但材料成本高，打印时间较长，后期废液处理较为烦琐。小明对多功能手机支架的精细度没有特殊要求，但对其材料成本有要求，SLA工艺打印的材料成本不符合要求。因此，可选取FDM工艺打印产品。

下面，以相同打印机使用不同打印材料的两种方案为例进行比较，如表2-5所示。

表2-5 不同方案比较2

打印材料	强度	韧性	预热	成本/(元/卷)	环保	其他
ABS	强	强	需要预热	58	较环保	易开裂
PLA	强	强	无须预热	39	环保	不易开裂

通过比较可以得知，ABS打印材料与PLA打印材料，均能满足产品强度、韧性需求，但PLA材料不仅成本较低，而且加工过程中不需要对底板进行预热，打印的产品不易开裂。因此，优先选择PLA材料进行打印。

结论：在设计方案相同的情况下，根据加工条件，比较权衡打印工艺与打印材料，发现采用FDM工艺，选择PLA材料打印产品能达到最优效果。

上述案例仅比较了工艺与材料两个方面的信息，实际上，一件产品在制订设计制造方案的过程中，不仅要根据使用者的需求从安全性、规范性、实用性、创新性、稳定性、耐久性等方面考虑，还要考虑加工难易程度、成本、环保等综合因素，才能确定最终方案。

思考 & 练习

小明需要一款个性化多功能台灯，要求台灯底部平稳、灯头可自由转动，台灯高度不超过60 cm，且有笔筒、时钟等多种功能。请同学们构思与编制设计制造方案，并利用本节课所学知识 with 技能进行方案的比较分析。根据完成情况，填写表2-6。

表2-6 构思与编制设计制造方案评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
构思与编制 设计制造方案	构思的方案对主要要素的呈现			
	编制的方案对主要要素的呈现			
	从多个角度比较方案			
	形成合理的解决方案			
	团队成员分工合作			

等级标准：A——优秀，B——良好，C——合格，D——待改进

第 2 节 三维打印产品设计分析与打印分析

学习目标

1. 了解三维打印产品技术分析的方法。
2. 能结合 FDM 的工艺特点，对三维打印产品进行技术分析。

用三维设计软件设计产品，再用三维打印设备打印制造产品，满足人们的个性化需求，是以新工艺、新设备、新材料为代表的新技术的发展方向。设计的产品是否能满足使用者的需求？制造的产品是否安全、实用？这些需要设计者、制造者对产品进行技术分析。产品的技术分析是优化产品的关键步骤。

小明利用三维设计软件设计了多功能手机支架三维模型，并用三维打印机打印了三件产品（图2-2），他想让同学们对产品进行体验并作出评价。如果你是体验者，你觉得应该从哪些方面对它们进行分析？

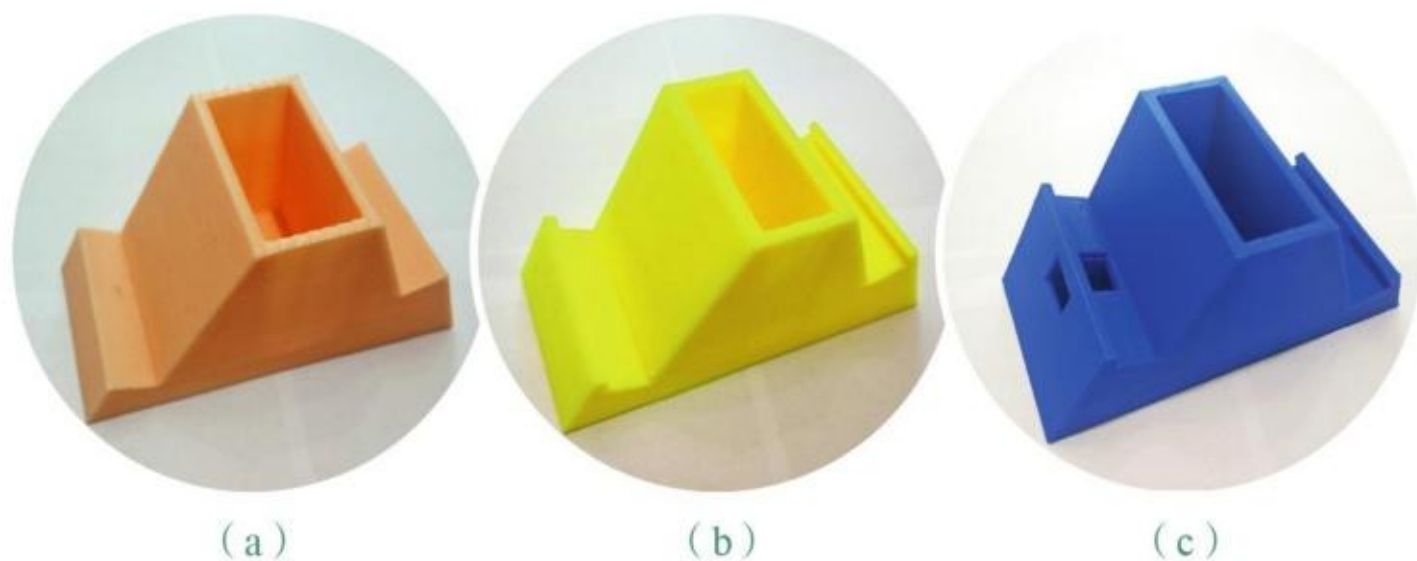


图2-2 多功能手机支架

对三维打印产品的技术分析可以从设计分析和打印分析两个方面入手。

一、设计分析

设计分析指对三维打印产品结构、造型等方面的设计进行分析，它决定了产品设计是否能够满足使用者的需求，也影响着产品的质量与效益，是产品设计的关键。

结构设计分析重点考虑结构是否稳固、安全，是否轻量化、一体化等。在保证安全稳固的基础上，尽量采用一体化设计，减少组装；在保证强度的基础上，尽量采用中空结构或点阵夹芯结构等，减少产

品重量，节约制造成本。造型设计分析重点考虑产品是否能满足使用者的需求，同时考虑安全、符合人体工程学、美观、节约材料等因素。在不影响结构或外观的情况下，尽量减少悬挂或减少使用倾斜角度大于60度的造型设计。



案例

多功能手机支架设计分析

结构设计分析：多功能手机支架左右两侧可以分别支撑手机、迷你平板电脑等，中间可以放置2~3支笔；采用一体化结构，无须组装，底面平整，重心位置靠下，增强了它的牢固度与稳定性。如图2-3所示，利用三维设计软件的应力分析功能对多功能手机支架进行应力分析，在外壳壁厚为1 mm时，对支撑部分的侧面施加10 N的力，对支撑凹槽处的充电线凹槽左右两边各施加5 N的力，其安全系数最小值为6.84，符合安全规范。（应力分析的具体操作，将在下一章进行详细讲解）

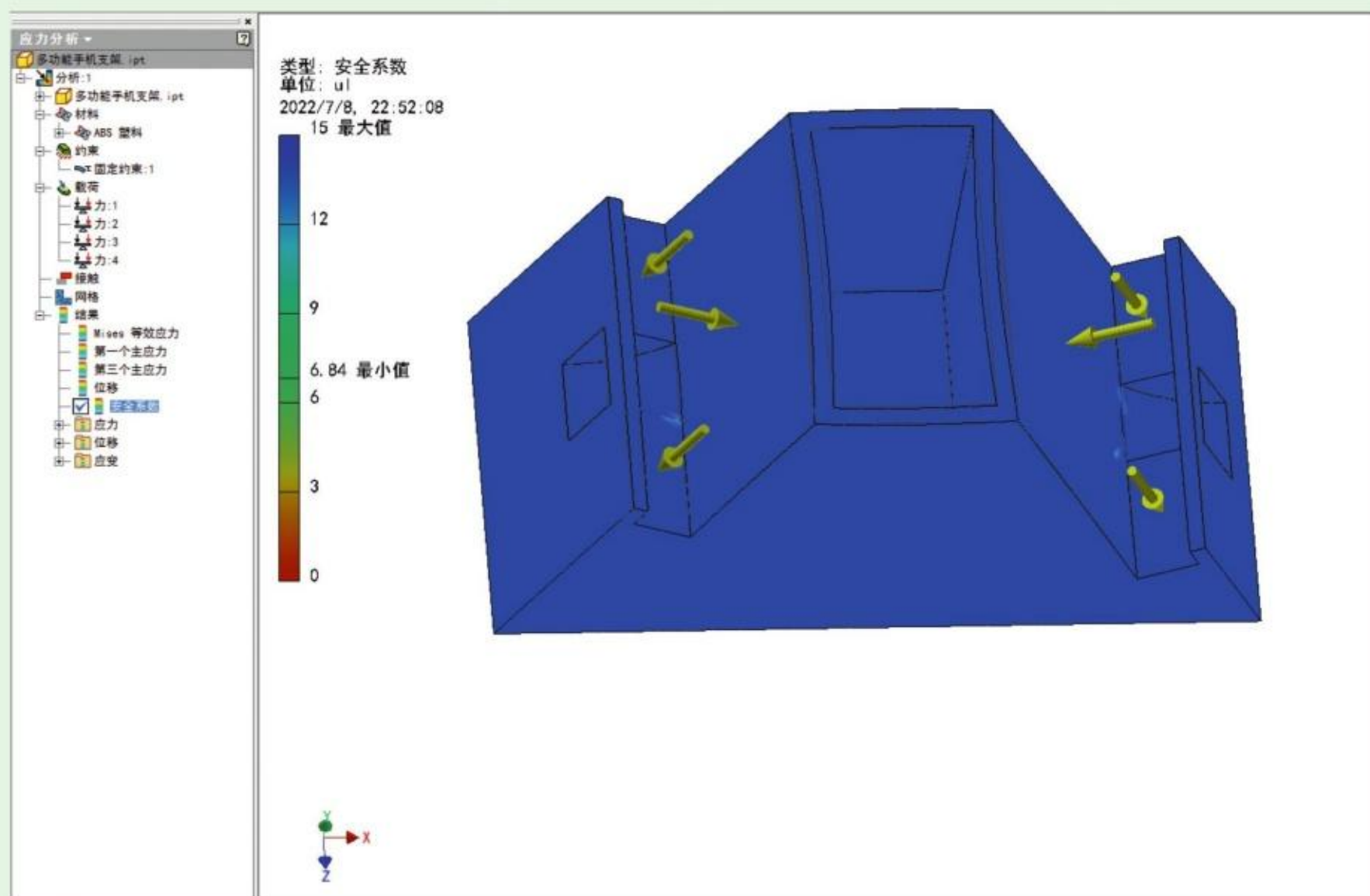


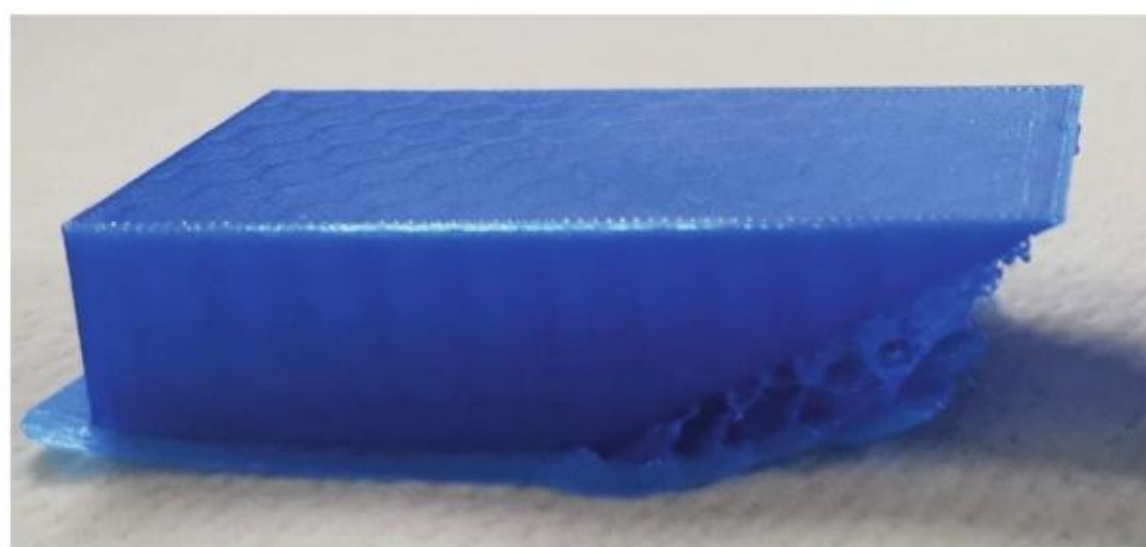
图2-3 利用三维设计软件对产品进行应力分析

造型设计分析：多功能手机支架的两侧支撑部分均设计挡板，防止设备滑落，保证使用安全。两侧的支撑凹槽尺寸合理，能平稳放置不同类型手机或迷你平板电脑，倾斜角度符合人体工程学。中间笔筒深度为60 mm，能安全摆放长度为120~150 mm的笔。支架两侧均设计充电线凹槽，能插入市面上大部分常见类型的充电线，满足使用者在竖放电子设备时充电的需求。

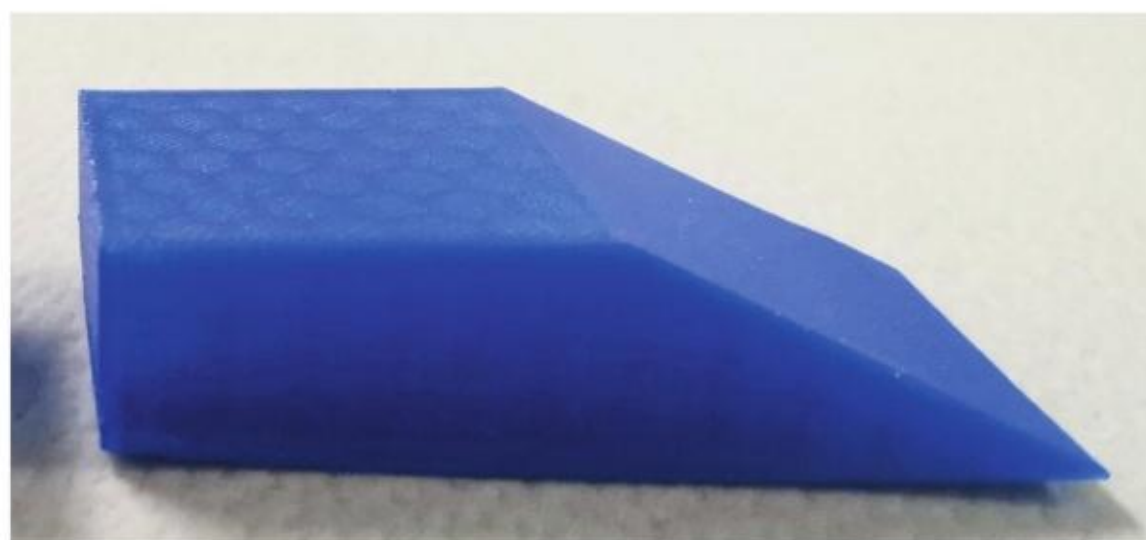
二、打印分析

以FDM工艺为例，打印分析指根据FDM工艺的特点，对支撑、壁厚、填充密度等打印参数设置及后期处理进行的分析。它凸显了产品制造的细节，同时也影响着产品的质量。

支撑设置分析重点考虑产品打印前在切片软件中预设的产品摆放位置及所需的支撑。产品摆放及支撑设置应以打印时产品稳固且产生尽量少的支撑为原则。如图2-4（a）所示，几何体模型大的截面朝上放置时，打印需要支撑，如无支撑则将导致打印失败。而图2-4（b）中，几何体模型大的截面朝下放置时，打印无须支撑。



（a）



（b）

图2-4 几何体模型不同摆放位置及支撑设置的打印效果对比

壁厚的设置影响产品的强度和重量，应在保证产品结构稳固安全的前提下，设置合理的壁厚。壁厚不能小于打印机喷嘴的直径，否则会出现打印错误或失败的情况。

填充密度会对产品的强度及打印时间、耗材产生影响。一般情况下，填充密度越大，产品的强度越强，打印时间越长，耗材越多。

因此，选择FDM工艺进行产品打印，应尽量避免悬空设置，减少支撑。除此之外，要考虑壁厚、填充密度对产品质量和打印时间、打印耗材的影响，设置合适的壁厚及填充密度，力求产品设计的最优化。

案例

多功能手机支架打印分析

支撑设置分析：本产品放置时底面与打印平台贴合，由于中间笔筒设计及手机支架两侧充电线凹槽设计，产生了部分悬空，导致产品内部必须有支撑。采用切片软件默认设置，自动添加支撑。

壁厚设置分析：本产品用来支撑手机或迷你平板电脑，对强度要求不高，通过应力分析，在达到安全系数的情况下，将壁厚设置为1 mm，既满足了产品强度的要求，保证了产品安全，又节约了材料。

填充密度设置分析：本产品要便于移动，为使其轻便、耗材少、打印时间短，设置填充密度为20%。

产品后期处理分析：本产品由于内部有支撑，所以后期需要去除支撑。用铲刀或手去除支撑，用砂纸对表面进行打磨，最终达到产品表面光滑细致的效果。

图2-5为多功能手机支架去除内部支撑前后效果对比，合理设置支撑可减少后期处理成本。

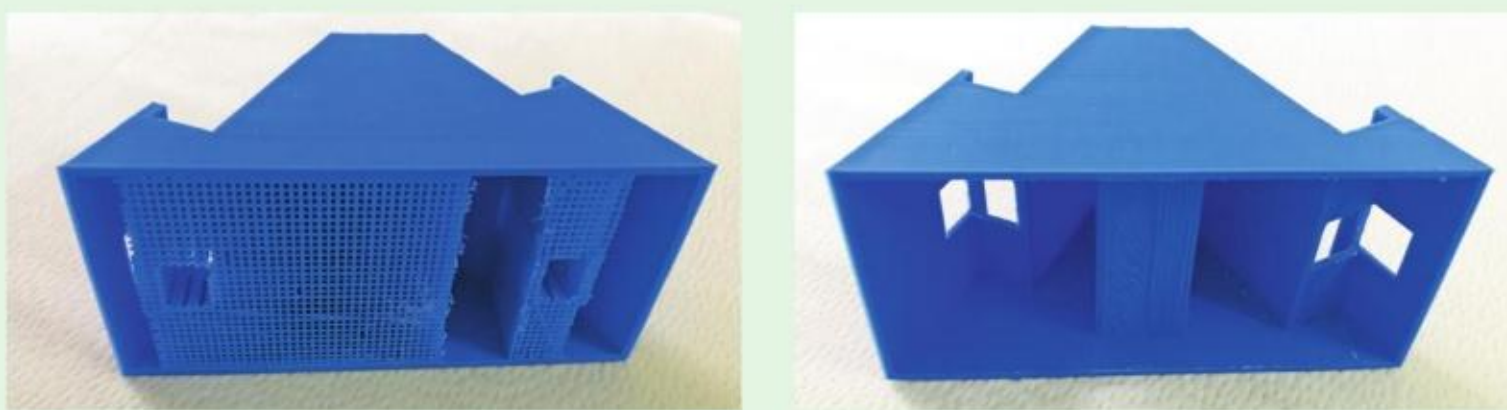


图2-5 多功能手机支架去除内部支撑前后效果对比

设计 & 操作

设置不同的壁厚、不同的填充密度并打印多功能手机支架模型，列表比较分析它们的重量、支撑情况、打印时间、耗材、光洁度等，选出你认为较合适的一种方案并说明理由。

总之，产品的设计与制造是相辅相成的，设计水平对制造会产生重大影响。没有好的设计，就没有好的制造。在设计时，结构简单的产品可采用一体化设计，对于结构复杂的产品，可先将其进行模块化分解，便于产品打印制造，同时尽量减少支撑，节约打印与后期处理成本。制造者的制造水平会影响制造结果。三维打印技术通过三维打印机快速成型，虽然对制造者的要求不高，但制造者也应掌握基本的打印技巧，避免产品出现翘边、底部收缩、打印件倾斜或错位、丢失层、开裂等现象。在打印完成后，制造者还需对产品进行去除支撑、打磨、组装等后期处理，这些操作也考验着制造者的水平。

讨论 & 交流

小明利用三维打印机打印了多功能手机支架，却发现产品有丢失层现象，而且表面不够精细。是什么原因造成了这种现象？请同学们查阅相关资料，讨论并列举可能存在的原因。



本章小结

三维打印产品的设计与制造遵循产品设计与制造的一般流程，但还需要考虑设备、材料、工艺、成型特点及成本等多种因素。

在发现与明确问题的基础上，可通过构思方案、编制方案、比较方案，最终形成设计制造方案。构思的方案应包含方案名称、编制人员、产品要求、产品构思等关键要素。编制方案需呈现产品的功能、结构、造型、规格、工艺、材料、制造方式、产品草图等要素。比较方案则需要设计制造者从安全性、规范性、实用性、创新性、稳定性、耐久性等多方面考虑，还要考虑加工难易程度、成本、环保等综合因素，最终确定解决方案。

对三维打印产品的技术分析可从设计分析和打印分析两方面入手。设计分析主要对三维打印产品的结构、造型等进行分析；打印分析以FDM工艺为例，主要对产品的支撑、壁厚、填充密度等打印参数及其后期处理进行分析。

本章学习评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
构思三维打印产品设计制造方案	根据发现与明确的问题提出产品设计要求			
	罗列产品特征			
编制三维打印产品设计制造方案	说明产品功能			
	说明产品加工方式或制造工艺			
	列举产品制造条件			
	说明产品环保信息			
	绘制产品草图			
比较三维打印产品设计制造方案	从结构、功能、工艺、材料、成本等多个角度比较方案			
	权衡优化方案，最终形成设计制造方案文稿或图样			
设计分析	说出设计分析的定义			
	列举设计分析重点考虑的问题			
打印分析	说出打印分析的定义			
	列举打印分析重点考虑的问题			

等级标准：A —— 优秀，B —— 良好，C —— 合格，D —— 待改进

第三章 三维模型设计

三维模型设计是建立在平面和二维设计的基础上，让设计目标更立体化、形象化的一种新兴设计方法。它能用图形将所要设计的产品直观地展示出来，并能方便地进行修改，使之完善，是创意表达的重要途径。

通过本章的学习，你将了解常用三维设计软件的特点及其功能，初步学会三维数字模型的设计、装配、测试和优化等，并能将三维数字模型转换成二维机械加工图和三维打印机的运行指令文件，逐步培养创新设计和图样表达能力。

第1节 简单模型设计

第2节 模型测试与优化

第3节 组合模型设计与切片



第 1 节 简单模型设计



学习目标

1. 知道三维设计软件界面各按钮的功能。
2. 掌握三维设计软件中草图绘制的一般方法，并能将草图转换成三维数字模型。

在一般的三维设计软件中，草图是三维模型的基础，绘制草图是创建模型结构的第一步。在绘制草图的基础上，可以使用拉伸、旋转、扫掠、放样等草图特征工具，将二维草图图形变成三维模型。数学教师张老师为了让学生了解常见的几何体，决定制造几何体模型作为教具，如图3-1所示。张老师计划利用三维设计与制造技术来制作这些模型。她首先要利用三维设计软件进行模型设计，然后利用三维打印技术将设计方案物化。你知道这类几何体模型是如何用三维设计软件设计出来的吗？下面，以一款三维设计软件为例，向大家介绍简单模型设计的方法。

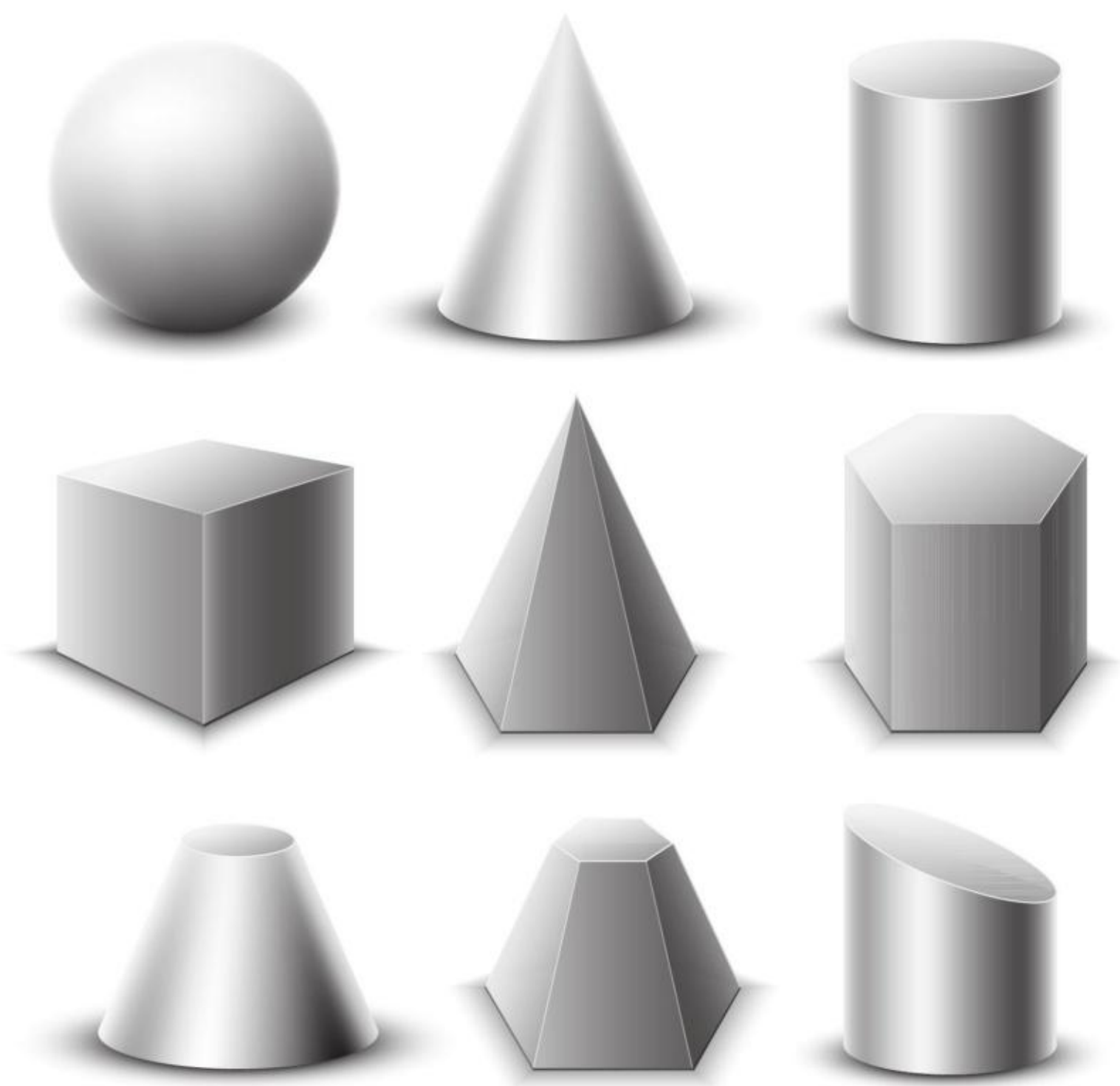


图3-1 几何体模型图

一、进入三维设计环境

(一) 启动三维设计软件

启动三维设计软件，打开“新建文件”对话框，如图3-2所示。“新建文件”对话框提供了用于创建文件的各种模板，见表3-1，根据需要进行选择文件模板即可。例如，新建标准零件文件时，选择“Standard.ipt”模板，创建零件。

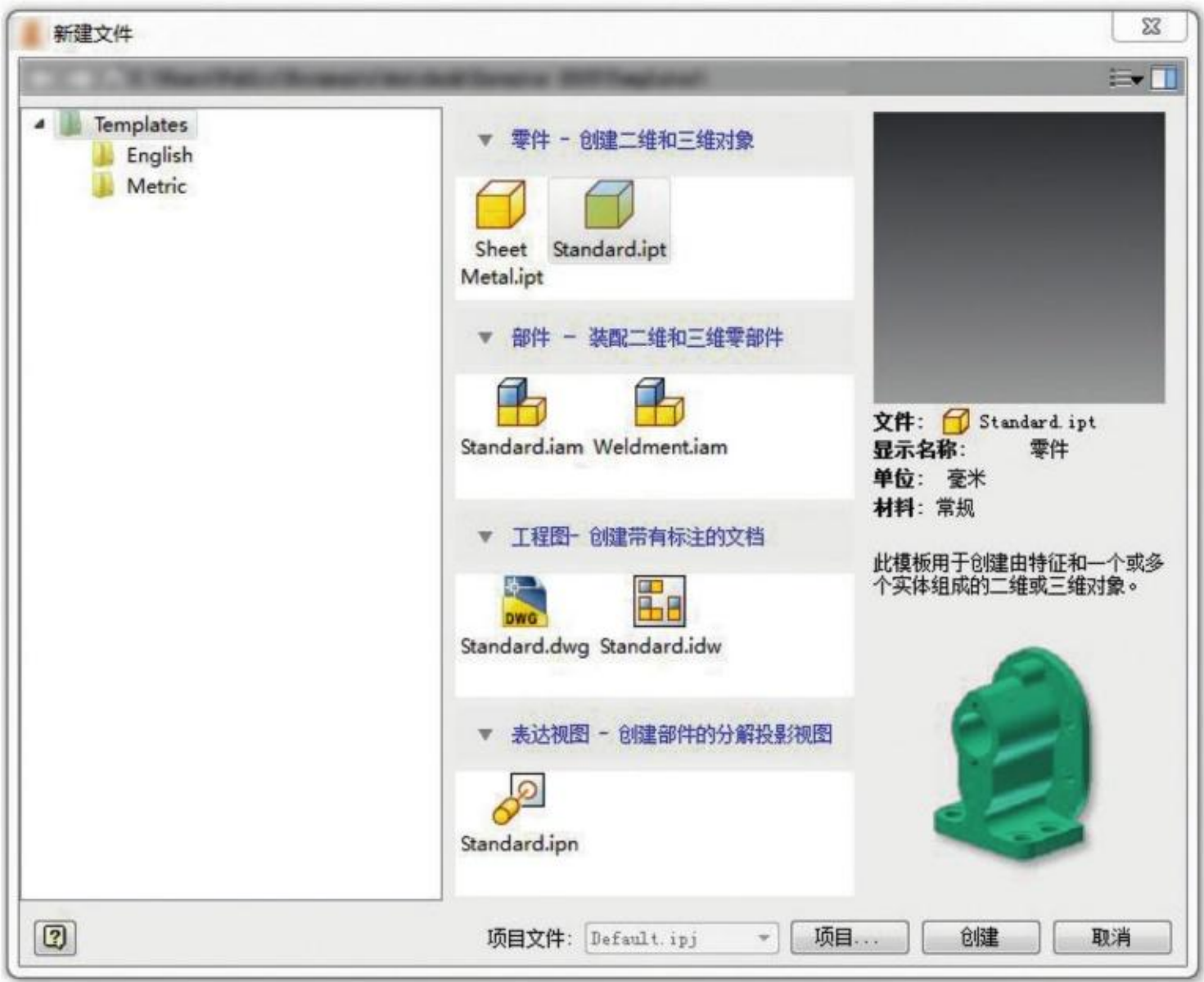


图 3-2 “新建文件”对话框

表 3-1 常用模板

图标							
类型	标准零件	标准部件	工程图 (idw)	工程图 (dwg)	表达视图	钣金零件	焊接组件

(二) 工作界面及其功能

三维设计软件的工作界面包括菜单栏、快速访问工具栏、标题栏、工具栏、浏览器、ViewCube、导航栏、坐标系、状态栏和作图区，如图3-3所示。

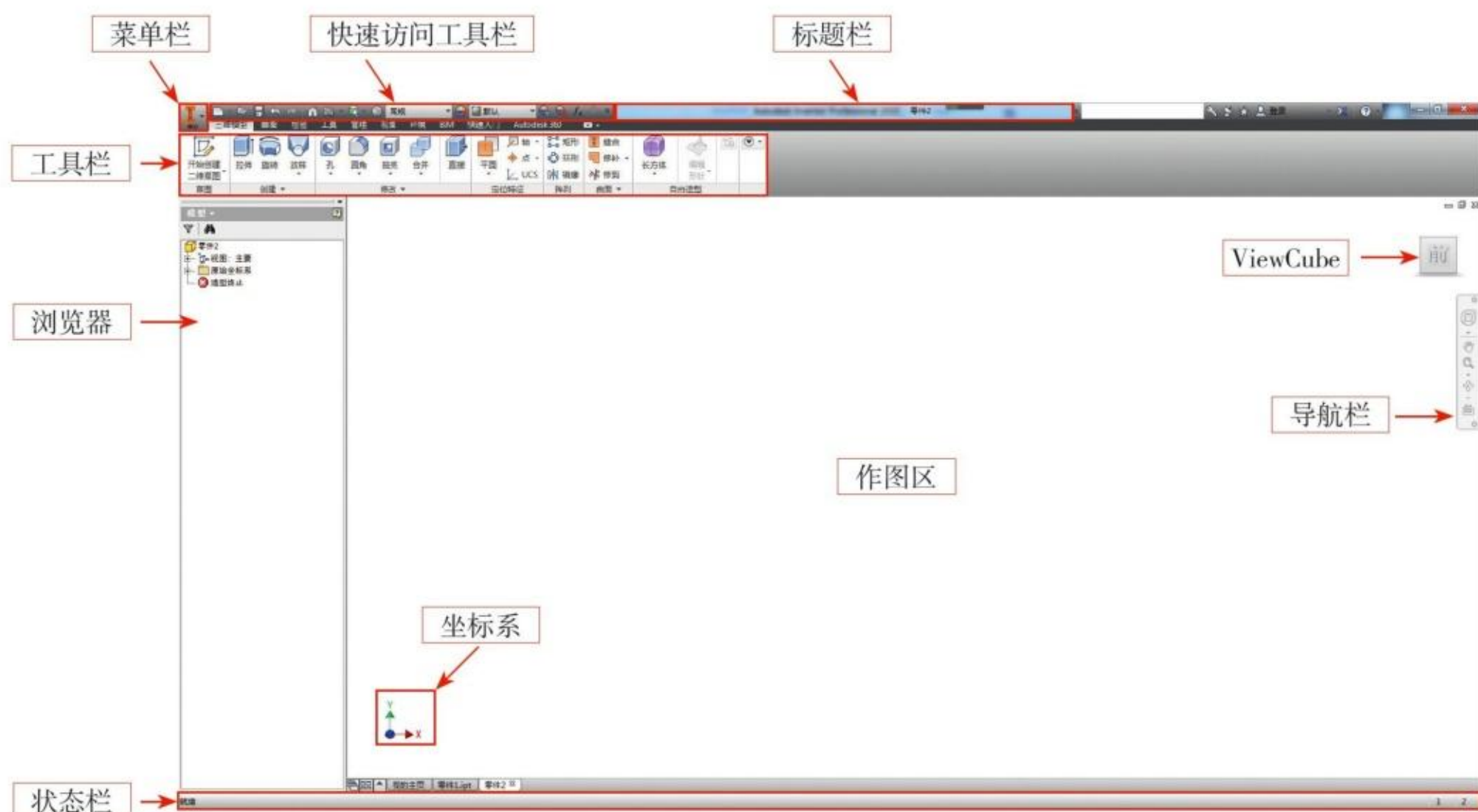


图3-3 三维设计软件工作界面

(1) 菜单栏：用于新建、保存、打开、导出及打印文件等。

(2) 快速访问工具栏：提供常用的工具，如新建、保存、撤销、恢复等。

(3) 标题栏：显示当前操作文件的名称。

(4) 工具栏：按照逻辑关系分类存放各种工具，不同类型的工具存放在不同的选项卡中。对于零件、部件、工程图等不同环境，工具栏与选项卡也有所不同。

(5) 浏览器：显示特征、零件、部件、工程图等的组织结构层次。对每个工作环境而言，浏览器都是唯一的，并总是显示激活文件的信息。

(6) ViewCube：用于选择或调整三维模型的观察角度。

(7) 导航栏：包含平移、缩放、旋转、观察方向等工具。

(8) 坐标系：显示当前操作状态的坐标范围。

(9) 状态栏：提供关于当前正在窗口中编辑的内容状态以及草图状态等信息。

(10) 作图区：是用户建立图形的区域，用户完成一张设计图的主要工作都是在作图区中进行的。

讨论 & 交流

你了解三维设计和三维设计软件吗？它们经常应用于哪些领域？请结合一个三维设计软件的应用案例，向同学们介绍一款三维设计软件。

二、简单模型设计

（一）使用拉伸特征生成圆柱体

1. 绘制草图

（1）进入草图环境。在工具栏“三维模型”选项卡中选择“开始创建二维草图”，选择“XY平面”作为基准平面创建草图1。

（2）绘制草图。在“草图”选项卡中选择“圆心圆”，绘制任意直径的圆。在“草图”选项卡中选择“尺寸”，对草图进行约束，草图如图3-4所示。草图中尺寸均默认以毫米为单位。

（3）退出草图环境。点击“完成草图”按钮，退出草图环境。

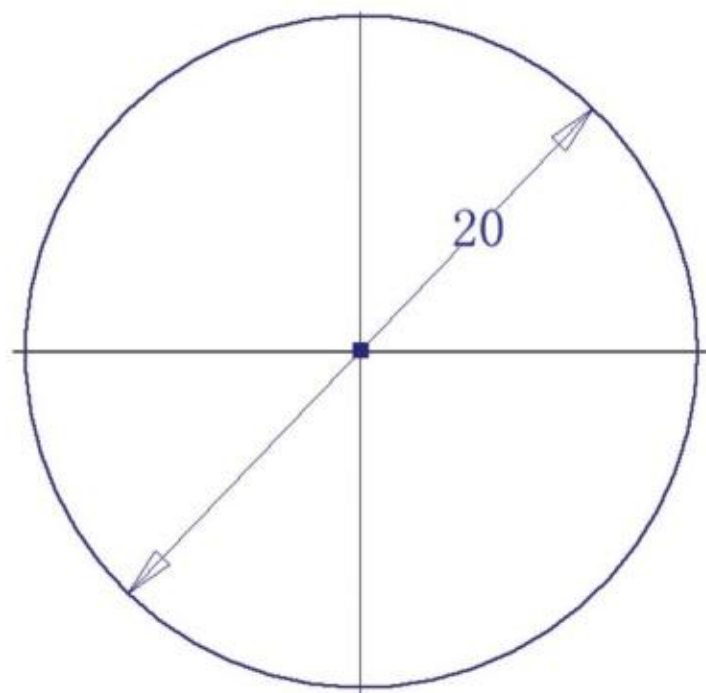


图3-4 绘制草图

2. 拉伸形成实体

在“三维模型”选项卡中选择“拉伸”，在弹出的对话框中选择“截面轮廓”，点击“草图1”；在“范围”处选择“距离”，并输入数值30；点击“确定”，拉伸形成高30 mm的圆柱体。如图3-5所示。

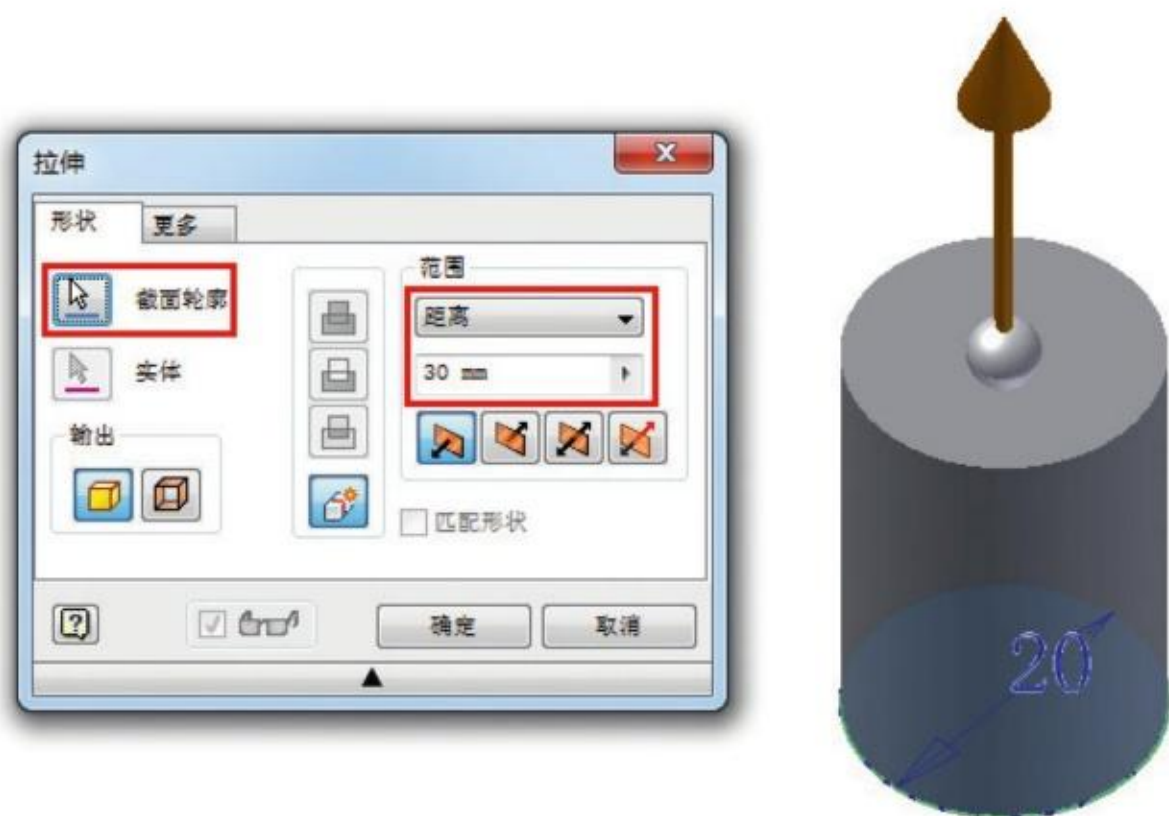


图3-5 拉伸形成圆柱体



绘制草图

绘制草图是三维建模的基础，是创建零件的第一步。在创建二维草图时，必须先确定草图所依附的平面，即确定草图坐标系的坐标面。图3-6为绘制草图的工具，其具体说明可参考表3-2。



图3-6 绘制草图工具

表3-2 绘制草图工具说明

绘制草图选项		选项说明
点	十 点	创建草图点或中心点。
直线	线 线	创建水平直线、竖直直线或任意直线。
样条曲线	样条曲线 控制顶点	通过指定的控制顶点创建样条曲线。
	样条曲线 插值	通过选定的点来创建样条曲线。
圆	圆 圆心	通过圆心和半径创建圆。
	圆 相切	创建与三条线相切的圆。
椭圆	椭圆 椭圆	通过中心点、长轴和短轴创建椭圆。
圆弧	圆弧 三点	通过表示起点、终点和半径的三个点创建圆弧。
	圆弧 相切	创建与其他实体相切的圆弧。
	圆弧 + 圆心	创建由圆心和两个端点定义的圆弧。
矩形	矩形 两点	通过成对角的两点创建矩形。
	矩形 三点	通过三点定义长度、方向和相邻边创建矩形。
	矩形 两点中心	通过两点定义中心、宽度和长度创建矩形。
	矩形 三点中心	通过三点定义中心、方向和相邻边创建矩形。

续表

绘制草图选项		选项说明
槽	 槽 中心到中心	创建由槽中心线、长度及槽宽度定义的线性槽。
	 槽 整体	创建由方向、长度及宽度定义的线性槽。
	 槽 中心点	创建由中心点、槽圆弧圆心的位置及槽宽度定义的线性槽。
	 槽 三点圆弧	创建由三点中心圆弧和槽宽度定义的圆弧槽。
	 槽 圆心圆弧	创建由中心点、两点中心圆弧及槽宽度定义的圆弧槽。
多边形	 多边形 多边形	创建最多可含120条边的多边形。
投影	 投影几何图元	将现有对象中的边、顶点、定位特征、回路和曲线投影到当前草图平面上。
	 投影切割边	将与激活草图平面相交的模型边投影到草图中。
	 投影到三维草图	将几何图元从激活的二维草图投影到选定面。
圆角	 圆角 ▾	在拐角或两条线的交点处放置指定半径的圆弧。
倒角	 倒角 ▾	在任意两条非平行直线的交点处放置一个倒角。

拉 伸

拉伸是为绘制的二维草图添加深度，拉伸特征效果如图3-7所示。草图截面轮廓必须是封闭的，才能创建实体。

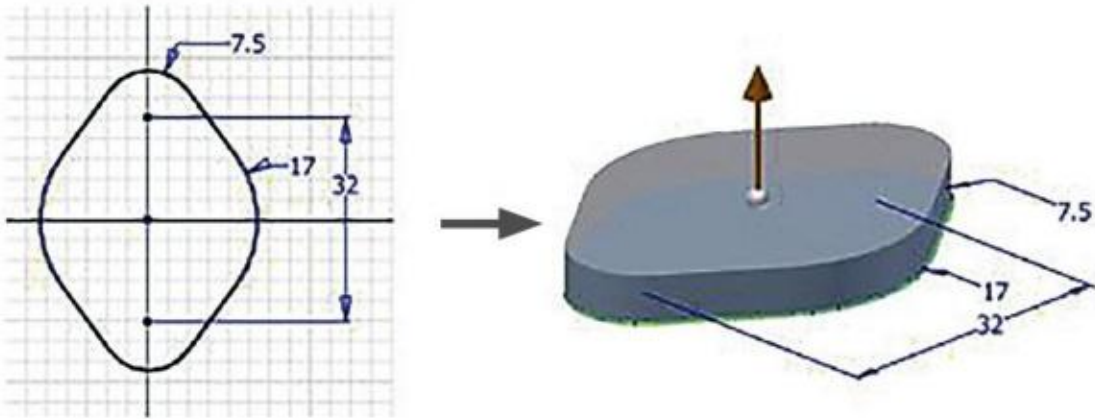


图3-7 拉伸特征效果

(二) 使用旋转特征生成圆锥体

1. 绘制草图

(1) 进入草图环境。在“三维模型”选项卡中选择“开始创建

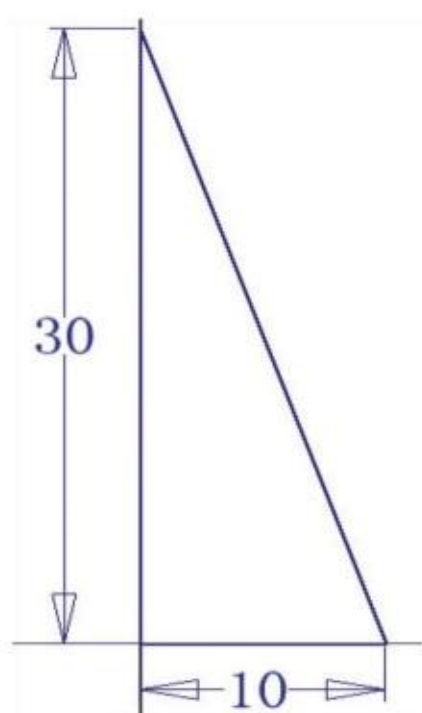


图 3-8 绘制草图

二维草图”，选择“YZ 平面”作为基准平面创建草图 1。

(2) 绘制草图。在“草图”选项卡中选择“直线”，绘制直角三角形。在“草图”选项卡中选择“尺寸”，对草图进行约束，草图如图 3-8 所示。

(3) 退出草图环境。点击“完成草图”按钮，退出草图环境。

2. 旋转形成实体

在“三维模型”选项卡中选择“旋转”，在弹出的对话框中选择“截面轮廓”，点击“草图 1”；选择“旋转轴”，点击直角三角形中的长直角边；点击“确定”，旋转形成圆锥体。如图 3-9 所示。

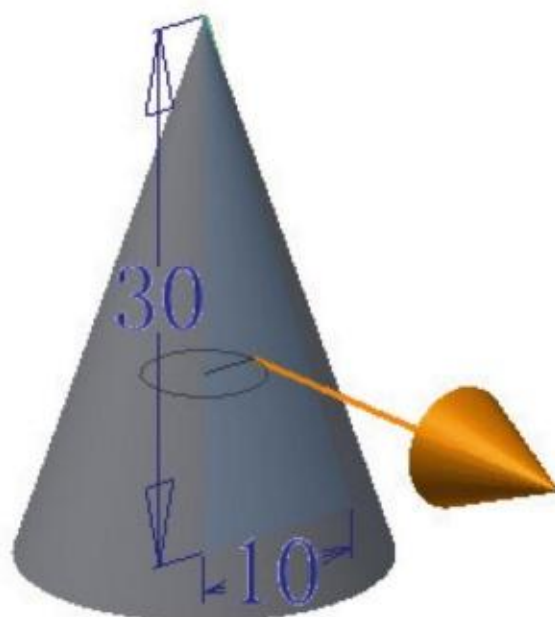


图 3-9 旋转形成圆锥体



拓展阅读

旋 转

旋转是通过绕轴旋转一个或多个草图截面轮廓来创建特征或实体，旋转特征效果如图 3-10 所示。可以将截面轮廓旋转任意角度（最大 360

度）。旋转轴可以是截面轮廓的一部分，也可以在偏离截面轮廓的位置。截面轮廓和旋转轴必须共面。

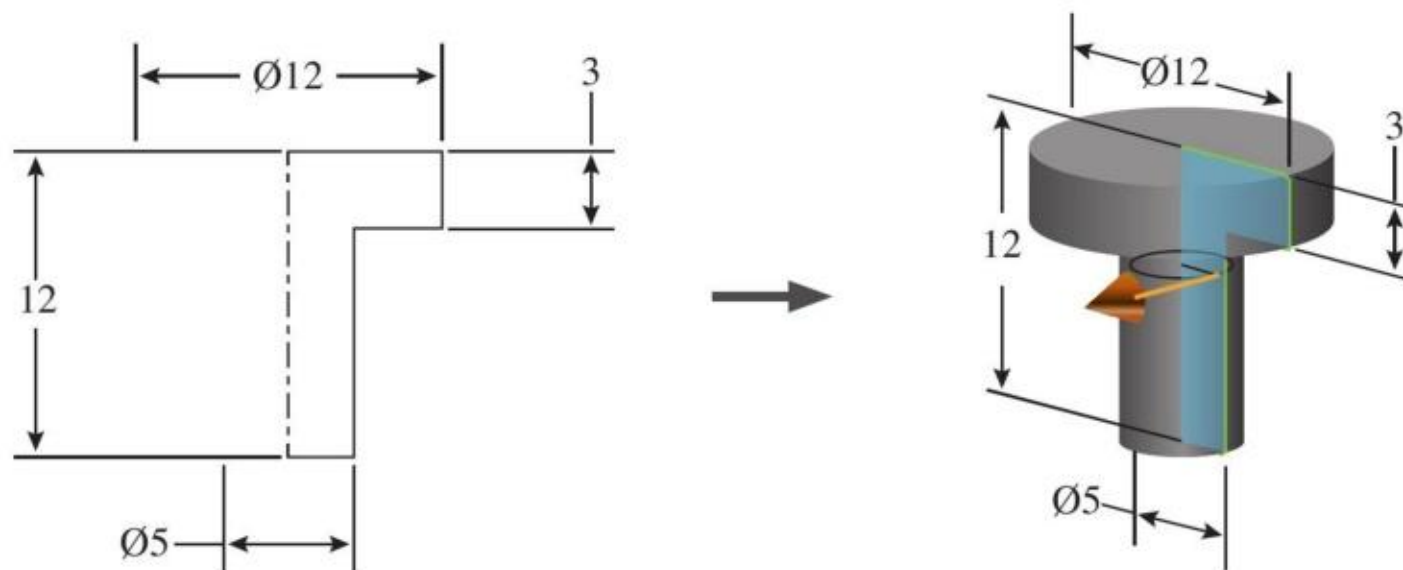


图 3-10 旋转特征效果

（三）使用放样特征生成圆台

1. 绘制草图

（1）进入草图环境。在“三维模型”选项卡中选择“开始创建二维草图”，选择“XY平面”作为基准平面创建草图1。

（2）绘制草图1。在“草图”选项卡中选择“圆心圆”，以坐标原点为圆心，绘制任意直径的圆。在“草图”选项卡中选择“尺寸”，对草图1进行约束，草图1如图3-11所示。

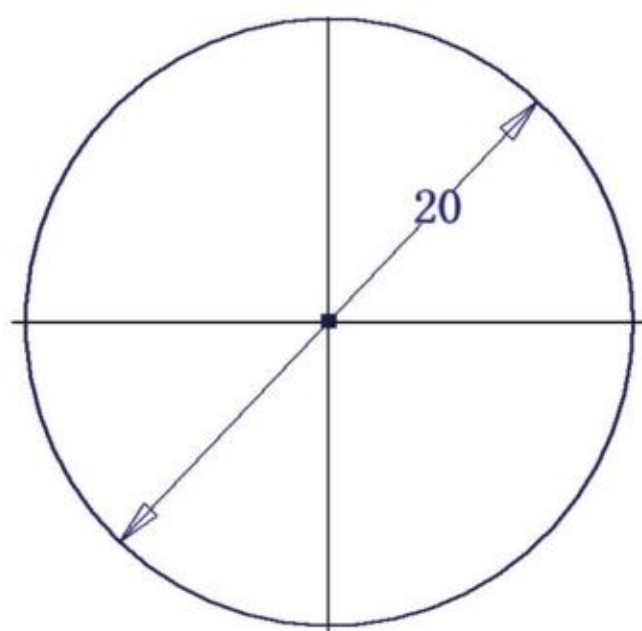


图3-11 绘制草图1

（3）退出草图环境。点击“完成草图”按钮，退出草图环境。

（4）创建新的工作平面。在“三维模型”选项卡中点击“平面”下方的下拉箭头，选择“从平面偏移”，打开浏览器的“原始坐标系”，选择“XY平面”，输入数值30 mm，即产生了一个距离XY平面30 mm的工作平面1，如图3-12所示。

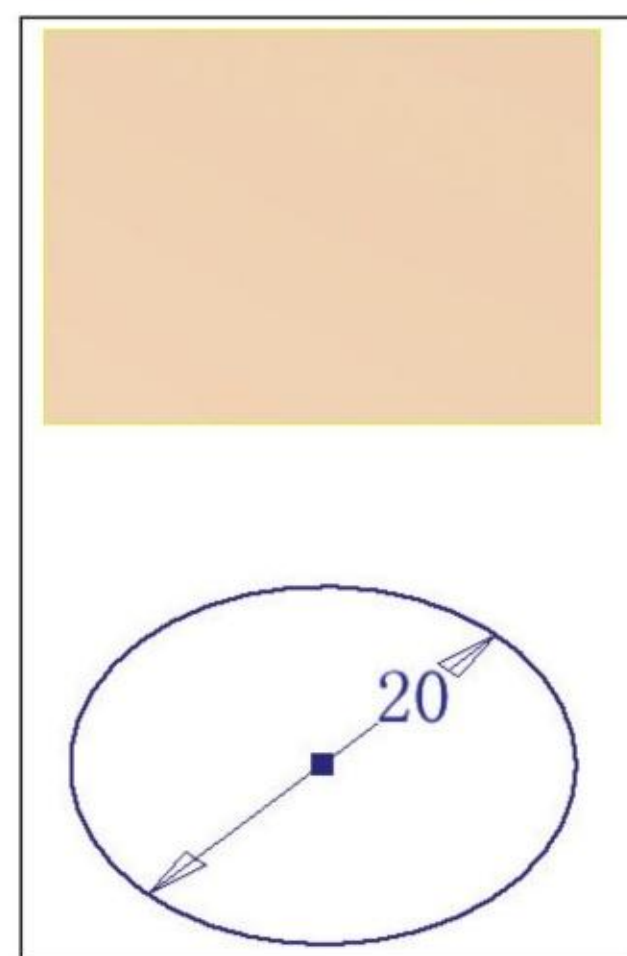


图3-12 创建新的工作平面

（5）进入草图环境。点击工作平面1，选择“创建草图”，进入新的草图环境，如图3-13所示。

（6）绘制草图2。在“草图”选项卡中选择“圆心圆”，以坐标原点为圆心，绘制任意直径的圆。在“草图”选项卡中选择“尺寸”，对草图2进行约束，如图3-14所示。

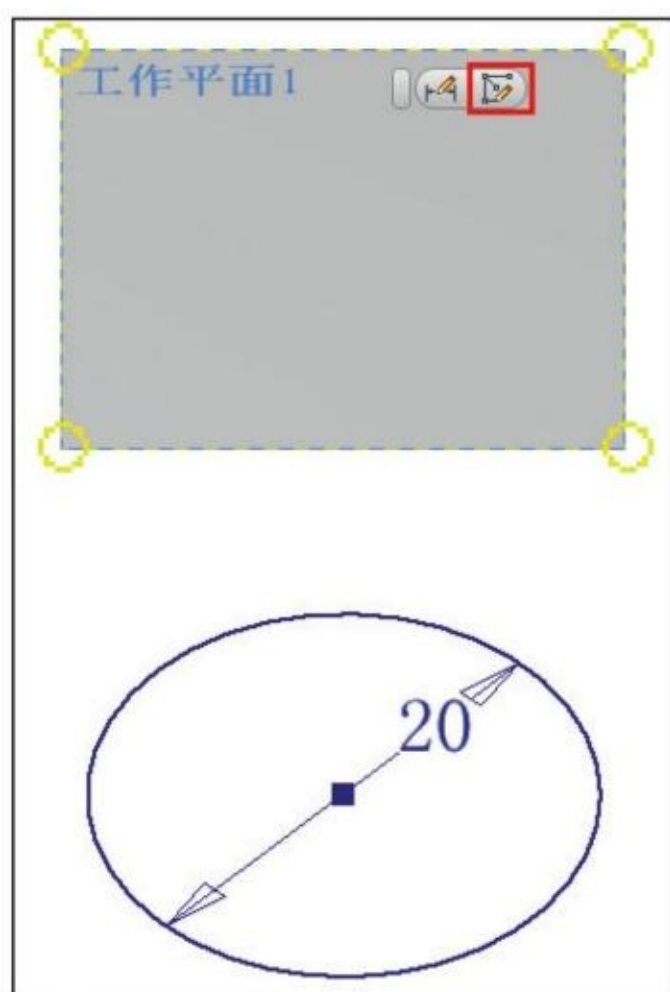


图3-13 进入新的草图环境

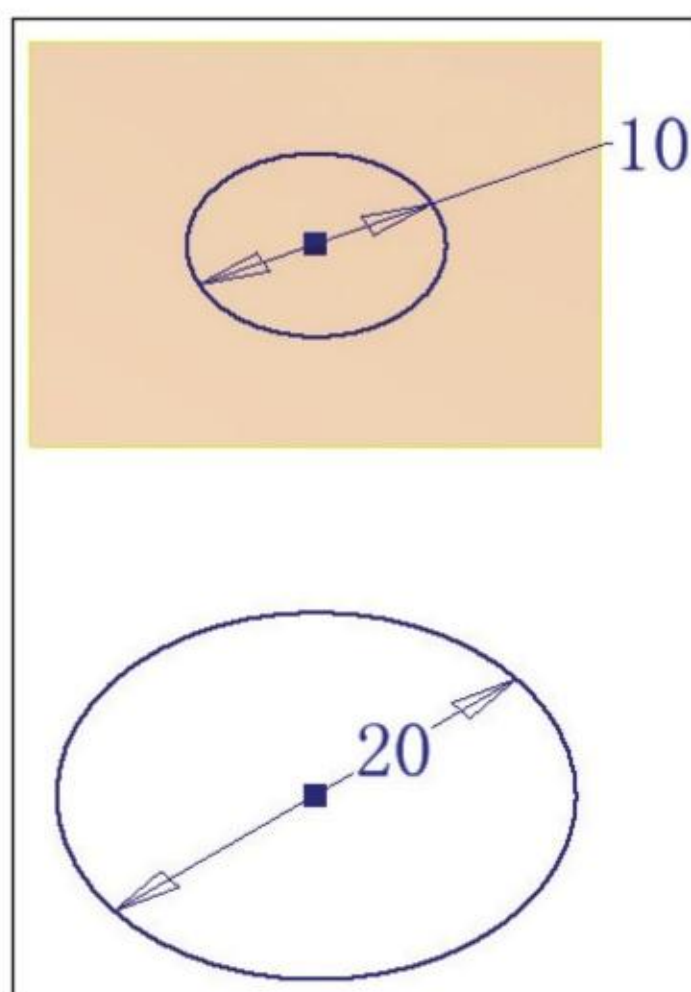


图3-14 绘制草图2

2. 放样形成实体

在“三维模型”选项卡中选择“放样”，在弹出的对话框中选择“截面”，点击“草图1”；继续选择“截面”，点击“草图2”。点击“确定”，放样形成圆台。如图3-15所示。



图3-15 放样形成圆台

讨论 & 交流

开始建模之前，对模型的形状结构进行细致的分析很重要。有些模型可以使用不同的特征生成三维立体结构，请以某一模型结构为例，分析它可以分别使用哪些特征来生成。

拓展阅读

放 样

放样是在两个或更多草图之间创建过渡形状，放样特征效果如图3-16所示。

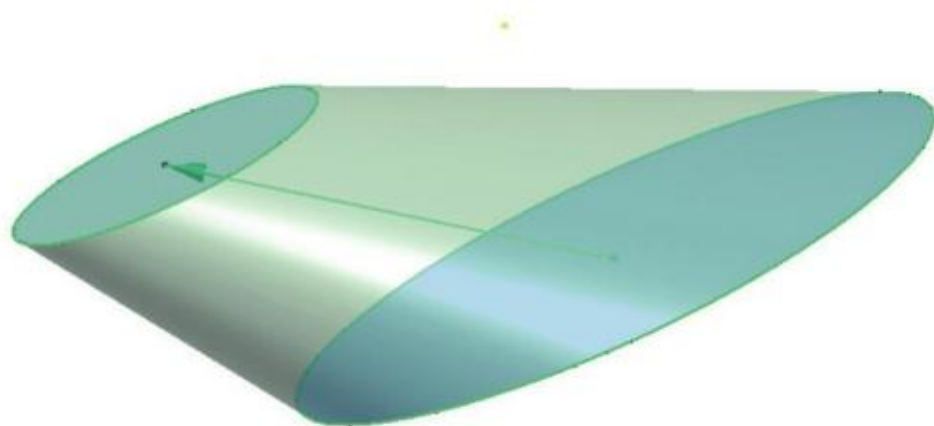


图3-16 放样特征效果

（四）使用扫掠特征生成内六角扳手

1. 绘制草图

（1）进入草图环境。在“三维模型”选项卡中选择“开始创建二维草图”，选择“XY平面”作为基准平面创建草图1。

（2）绘制草图1。在“草图”选项卡中选择“多边形”，过原点绘制一个正六边形。在“草图”选项卡中选择“尺寸”，对草图1进行约束，草图1如图3-17所示。

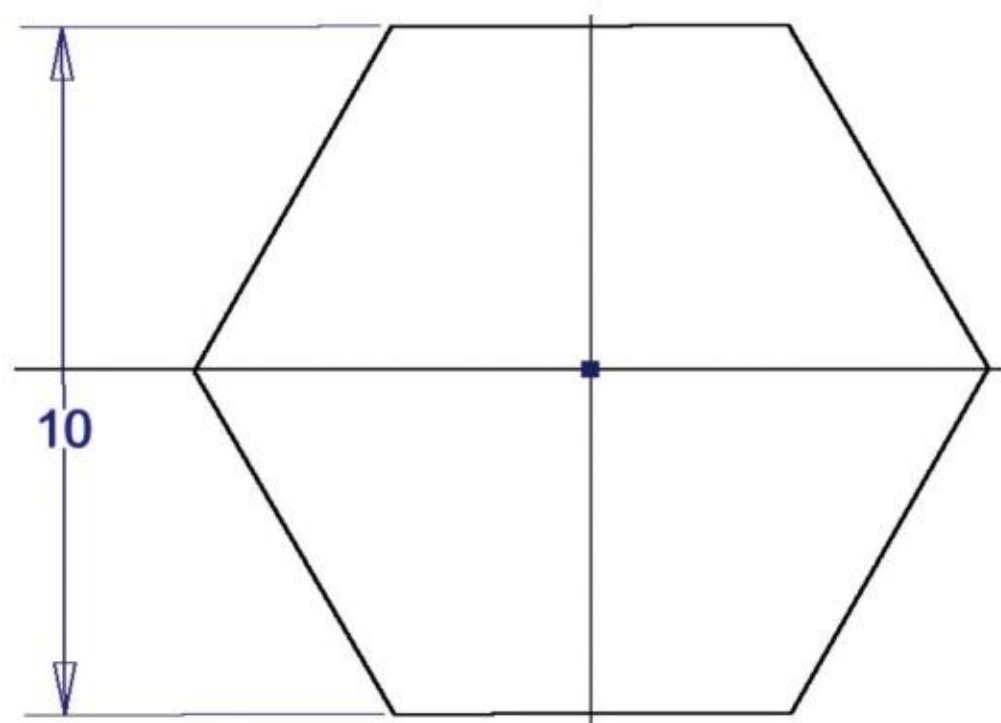


图3-17 绘制草图1

（3）退出草图环境。点击“完成草图”按钮，退出草图环境。

（4）进入草图环境。在“三维模型”选项卡中选择“开始创建二维草图”，选择“XZ平面”作为基准平面创建草图2。

（5）绘制草图2。在草图选项卡中选择“直线”，绘制如图3-18所示的草图2。

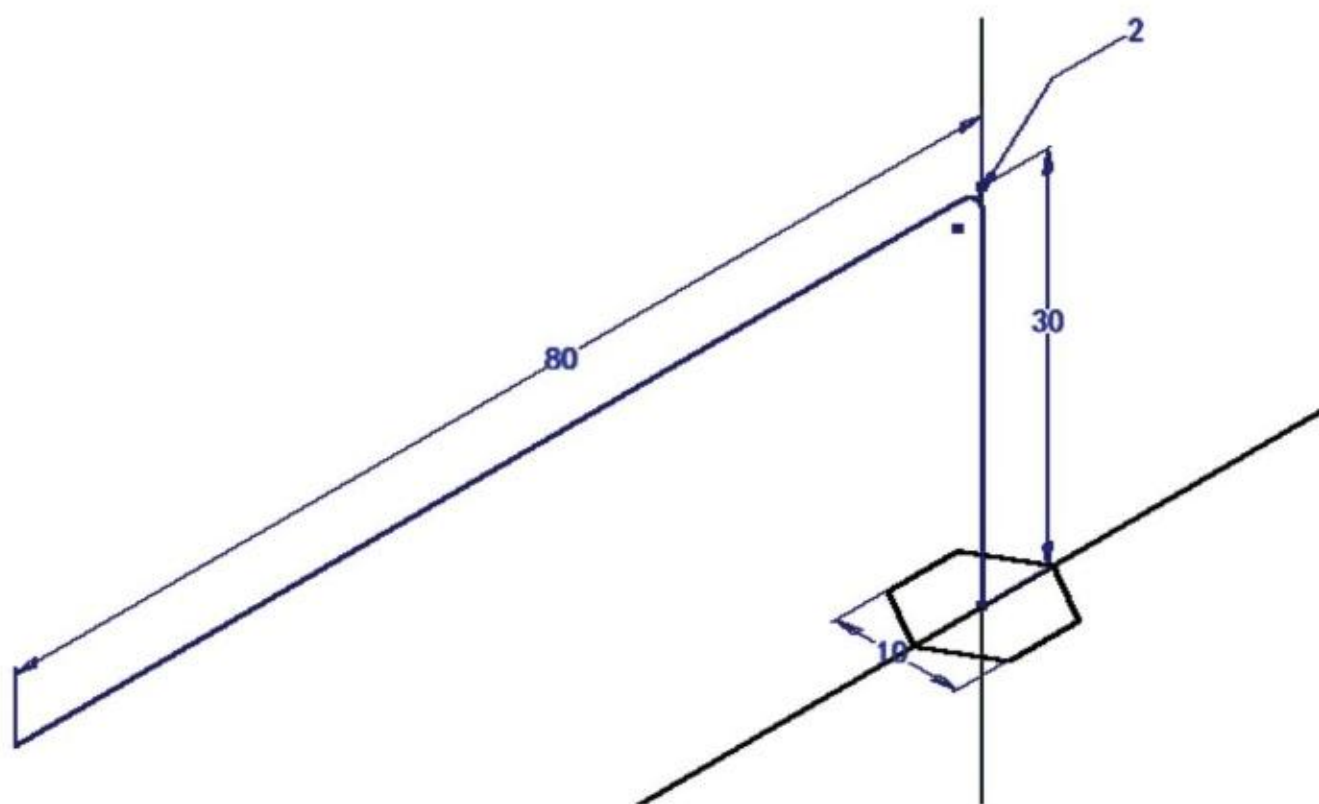


图3-18 绘制草图2

(6) 退出草图环境。点击“完成草图”按钮，退出草图环境。

2. 扫掠形成实体

在“三维模型”选项卡中选择“扫掠”。在弹出的对话框中选择“截面轮廓”，点击“草图1”；选择“路径”，点击“草图2”。点击“确定”，扫掠形成实体。如图3-19所示。

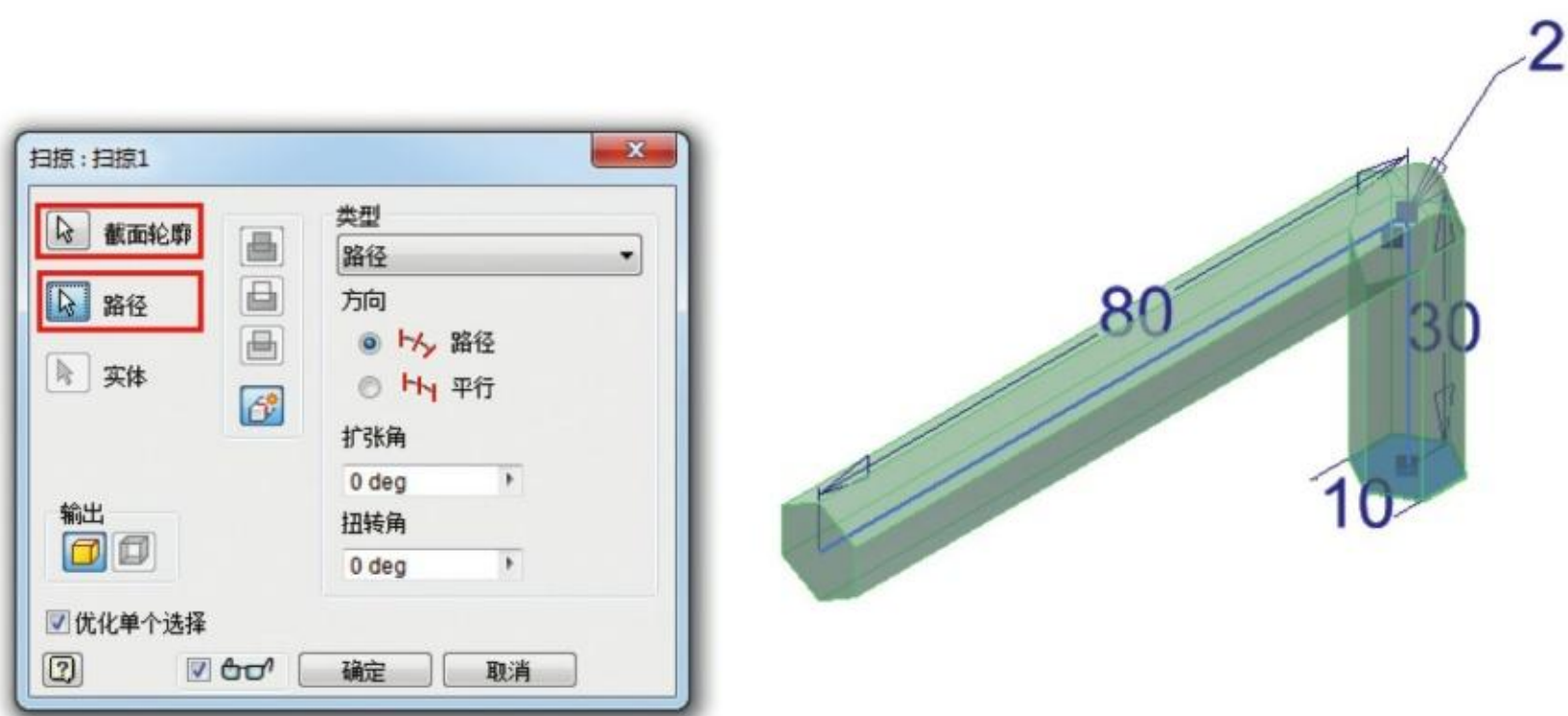


图3-19 扫掠形成内六角扳手



拓展阅读

扫 掠

扫掠是沿选定路径扫掠一个或多个草图截面轮廓，扫掠特征效果如图3-20所示。路径可以是开放回路，也可以是封闭回路，但是必须穿透截面轮廓平面。

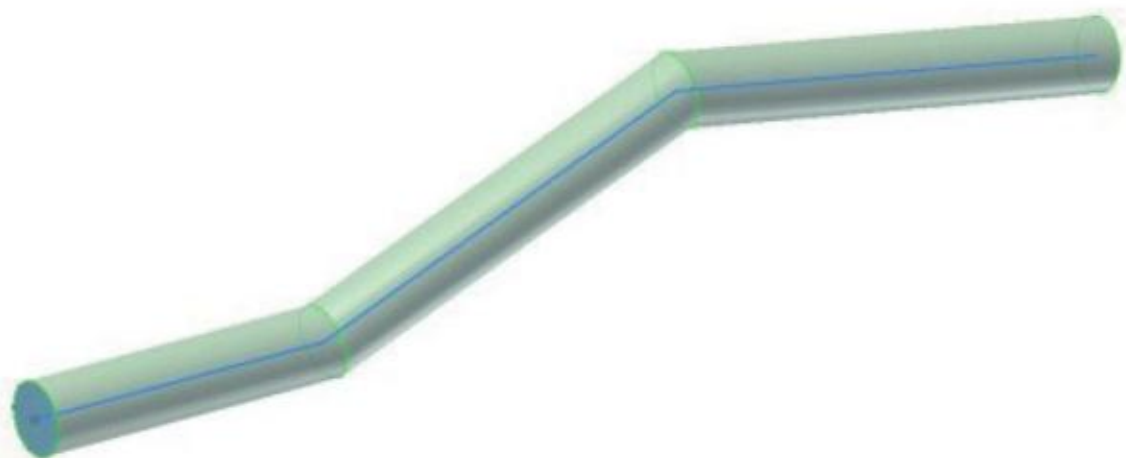


图3-20 扫掠特征效果

讨论 & 交流

观察如图3-21所示的常见生活用品，说说它们可以用什么特征来生成三维数字模型，并试着在纸上画出它们的草图。



图3-21 常见生活用品

设计 & 操作

如图3-22所示是一块U形磁铁，请根据U形磁铁的形状特征，在三维设计软件中生成三维模型，尺寸可查阅参考相关资料。



图3-22 U形磁铁

第 2 节 模型测试与优化

学习目标

1. 学会将设计方案转换成三维数字模型。
2. 学会对三维数字模型进行测试和优化。
3. 学会将三维数字模型转换成二维机械加工图。

三维设计软件不仅可以进行三维模型建构，还可以进行应力分析。通过应力分析，设计者能够在设计阶段就知道所设计零件的材料和形状是否能够满足应力要求。此外，三维设计软件还可以把三维数字模型转换成二维机械加工图，从而便于设计者进行工艺的选择和加工。

第二章中小明构思的多功能手机支架设计制造方案最终能否实现？能否通过方案测试和优化，让支架既能满足设计要求又能节约制造成本？让我们一起根据如图 3-23 所示的草图，帮助小明实现他的心愿。

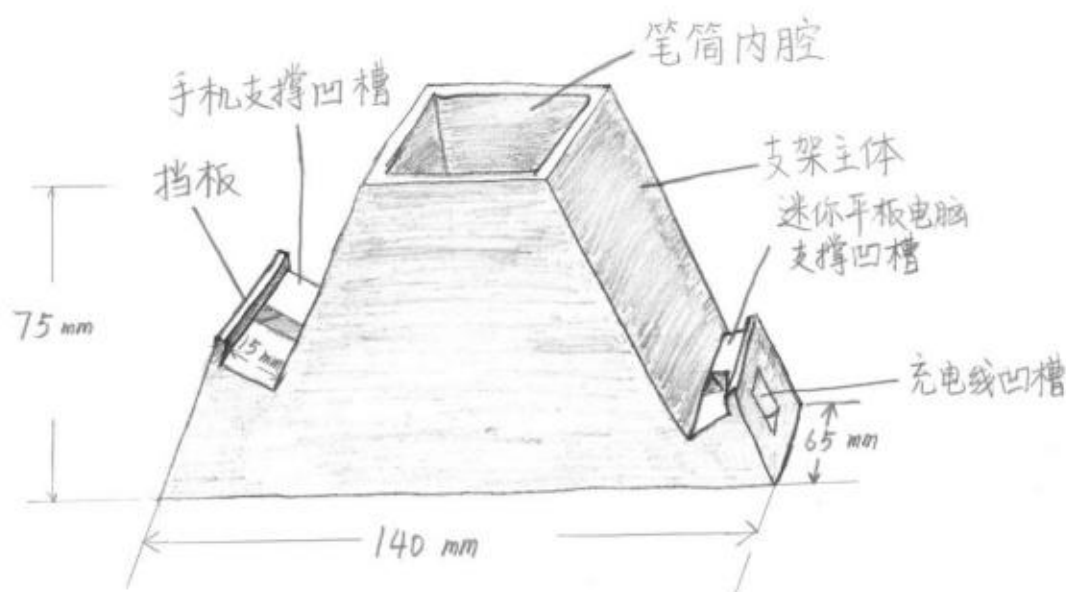


图 3-23 多功能手机支架草图

一、模型分析

(一) 结构组成

根据草图分析，多功能手机支架主要包含四个功能部分：支架主体、笔筒内腔、挡板和充电线凹槽。

(二) 结构分析

(1) 支架主体：前后对称，前后方向上各截面的轮廓一致。绘

制草图时，应充分考虑支架各部分的尺寸。

(2) 笔筒内腔：应充分考虑所需放置笔的数量和长度。

(3) 挡板：左右各一块，不宜过高而遮挡手机或迷你平板电脑的屏幕。

(4) 充电线凹槽：左右各一个，位置要合适，方便插、拔充电线，大小应能满足市面上大部分常见手机或迷你平板电脑充电线的要求。

二、模型建构

(一) 生成支架主体

新建一个标准零件文件，在二维草图环境中，绘制如图3-24所示的草图1。

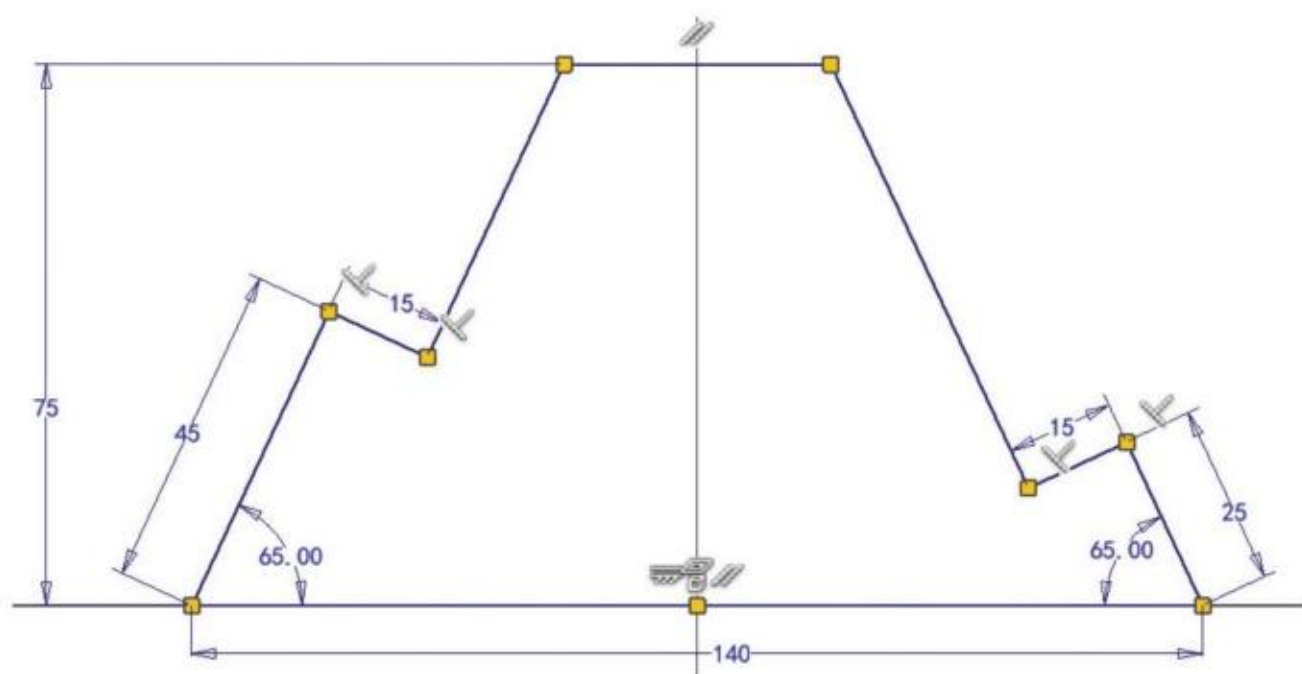


图3-24 绘制草图1

选择“拉伸”，将草图1拉伸65 mm，形成支架主体，如图3-25所示。

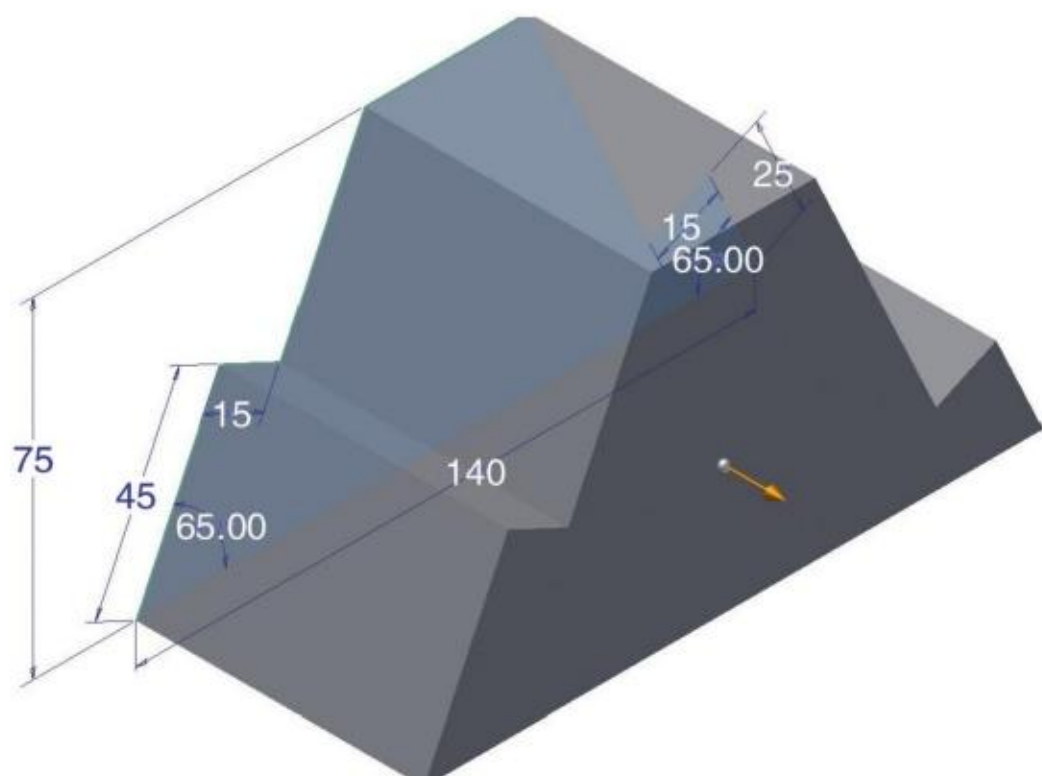


图3-25 完成支架主体创建

讨论 & 交流

如上页图3-24所示，多功能手机支架的侧面倾斜角度是65度，这个角度是否合理？在什么情况下需要调整该倾斜角度？应该怎么调整？

（二）生成笔筒内腔

在支架主体的上表面生成新的二维草图环境，在二维草图环境中绘制草图2，草图2的4条边与上表面相应的棱间的距离均为3.5 mm。如图3-26所示。

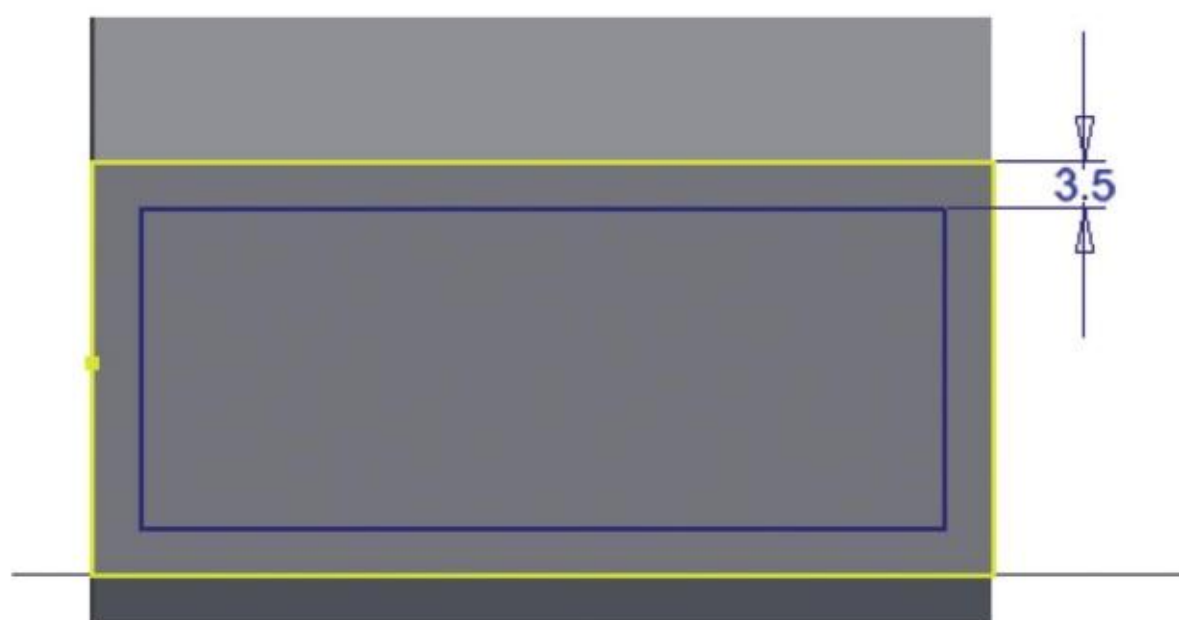


图3-26 绘制草图2

选择“拉伸”，利用布尔运算“求差”，将草图2拉伸60 mm，形成笔筒内腔，如图3-27所示。

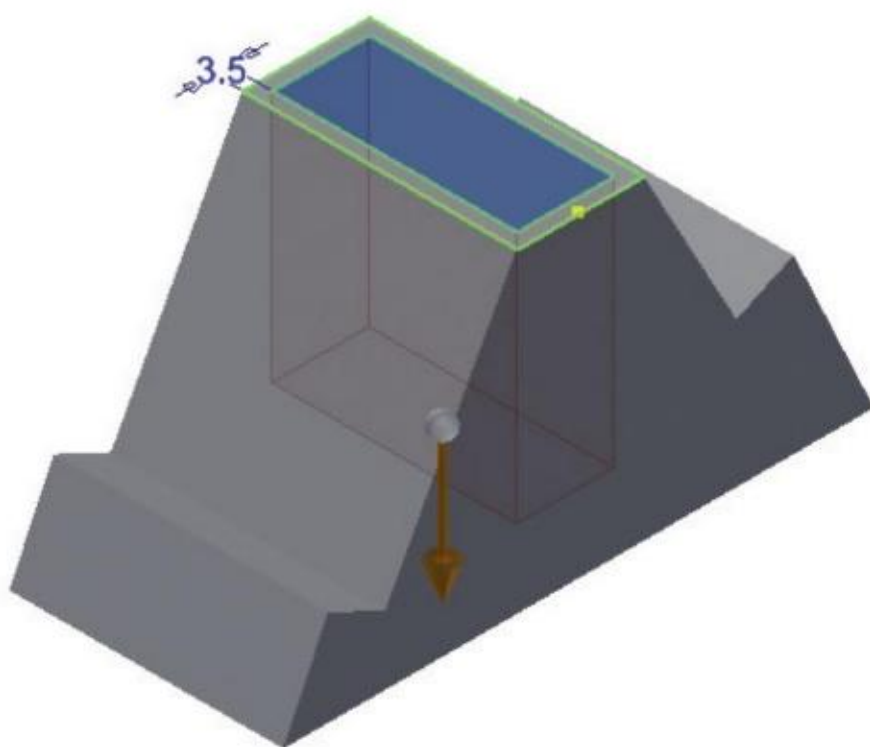


图3-27 完成笔筒内腔创建

（三）生成挡板

在支架主体前表面生成新的二维草图环境，在二维草图环境中绘制如图3-28所示的草图3。

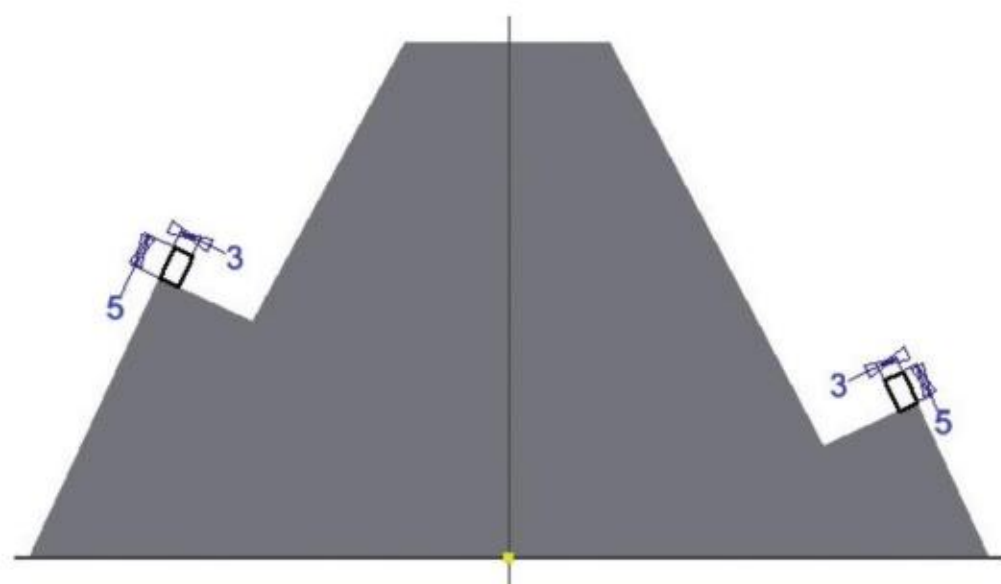


图 3-28 绘制草图 3

选择“拉伸”，将草图 3 拉伸 65 mm，形成挡板，如图 3-29 所示。

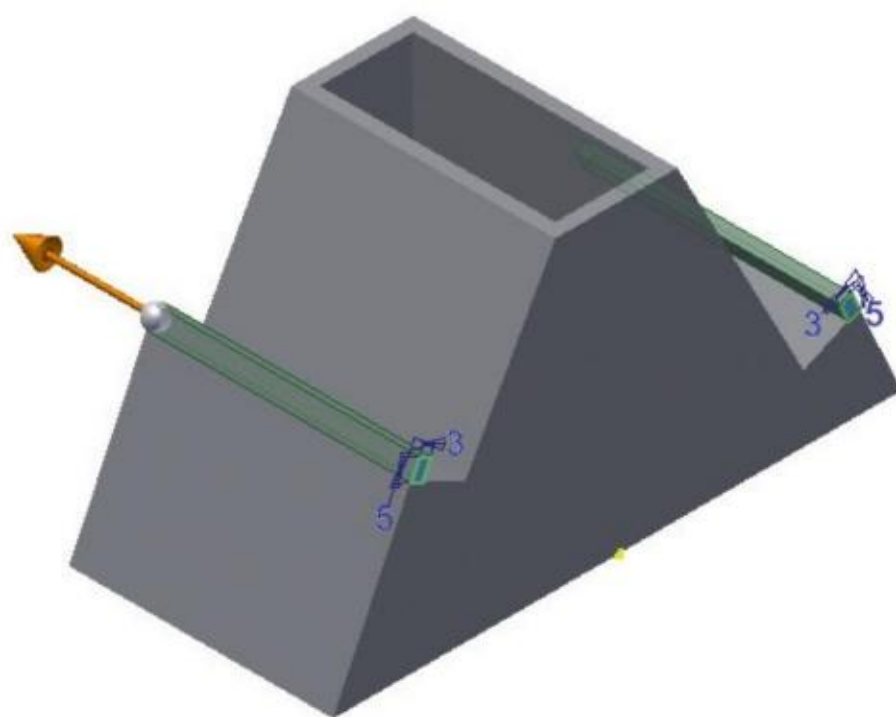


图 3-29 完成挡板创建

（四）生成充电线凹槽

在支架主体前、后表面的正中间创建一个与前后表面平行的新工作平面，并在该平面生成新的二维草图环境，如图 3-30 所示。

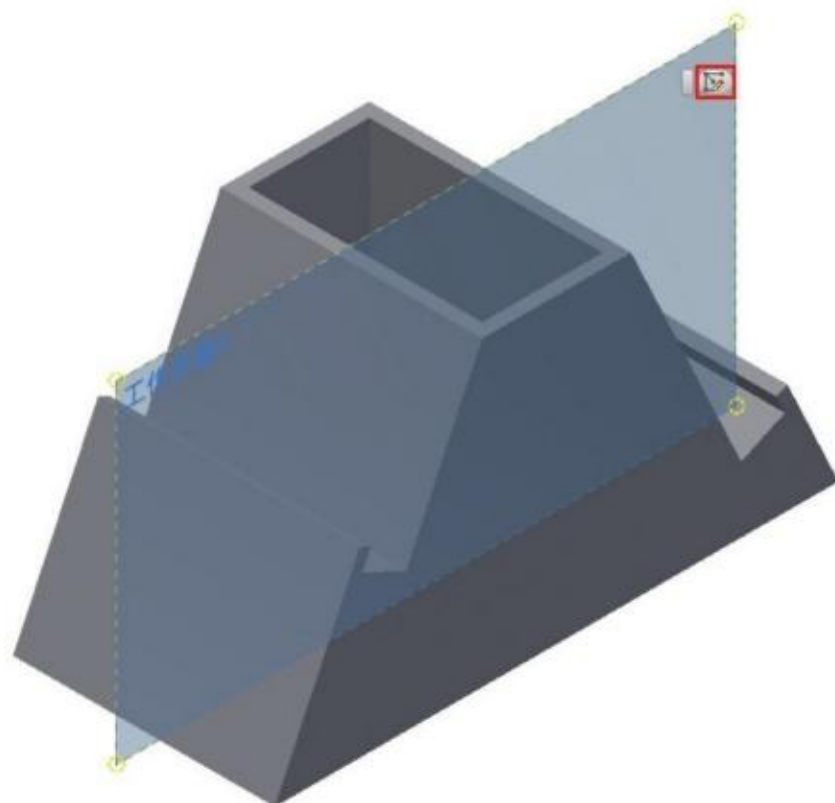


图 3-30 创建新的工作平面及二维草图环境

在二维草图环境中，单击鼠标右键，选择“切片观察”，绘制如图3-31所示的草图4。

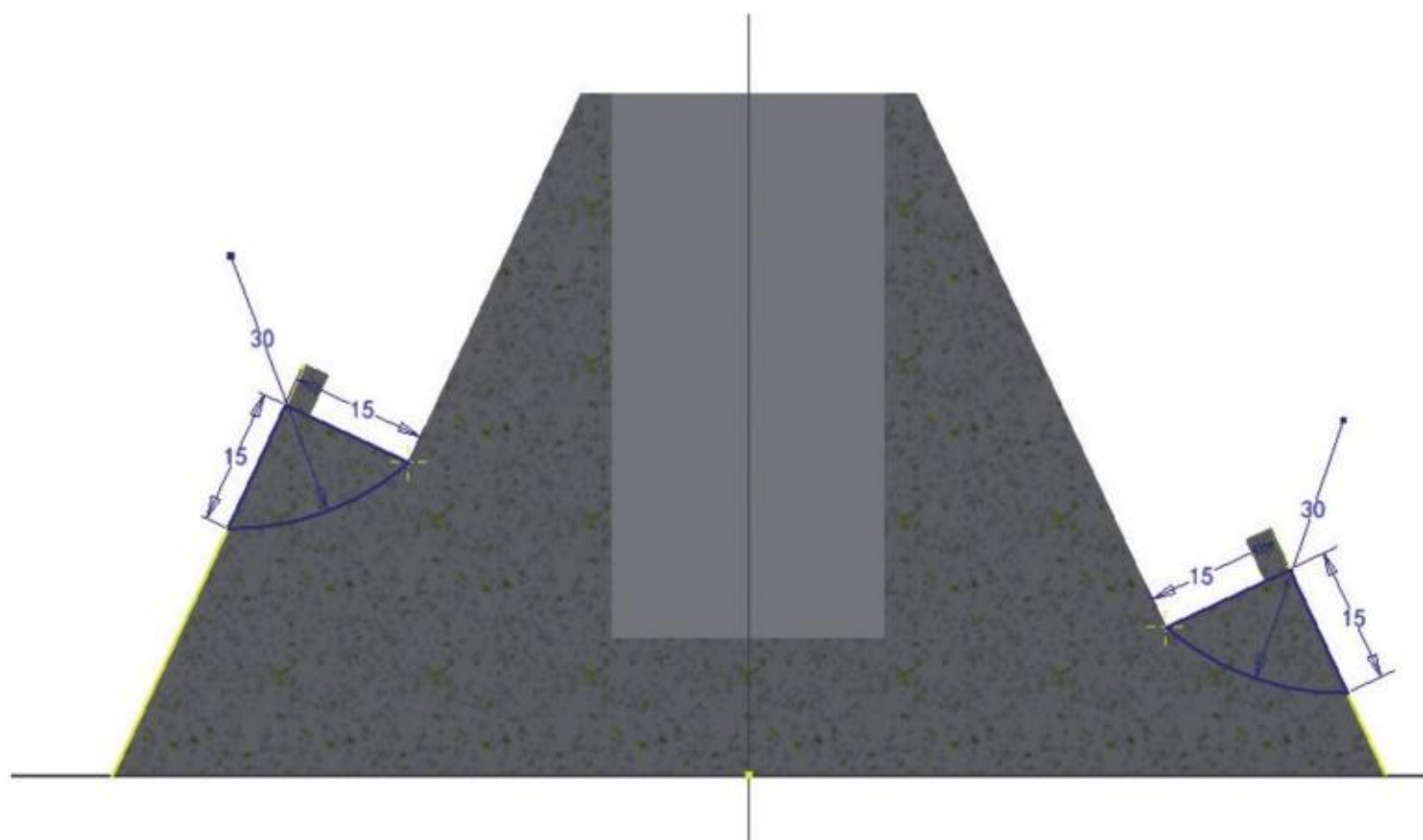


图3-31 绘制草图4

选择“拉伸”，利用布尔运算“求差”，在“范围”处选择“对称”，将草图4拉伸16 mm，形成充电线凹槽，如图3-32所示。

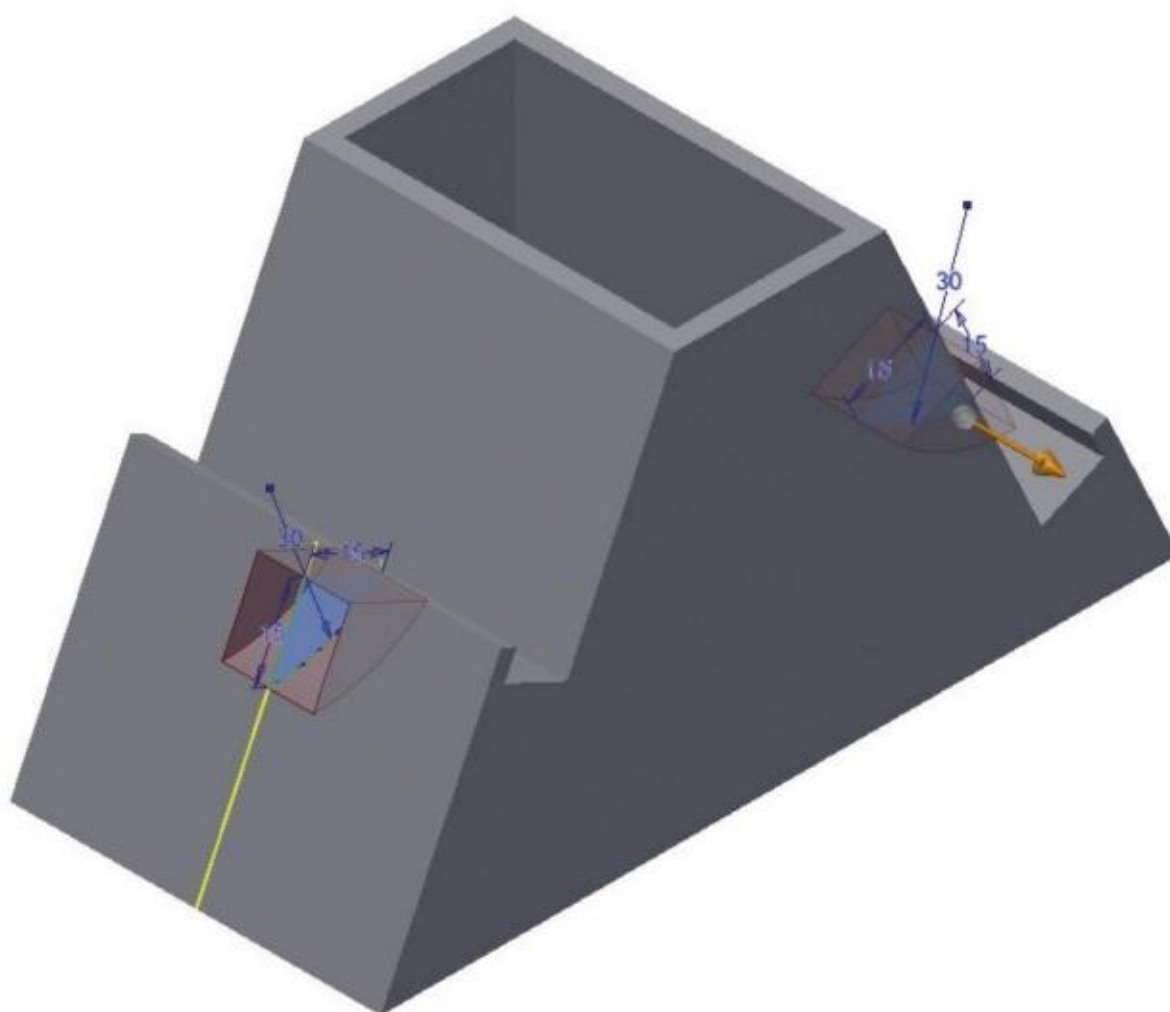


图3-32 完成充电线凹槽创建

（五）去除内填充

选择“抽壳”，去除支架主体的内填充，形成厚度为2 mm的支架主体空腔，如图3-33所示。

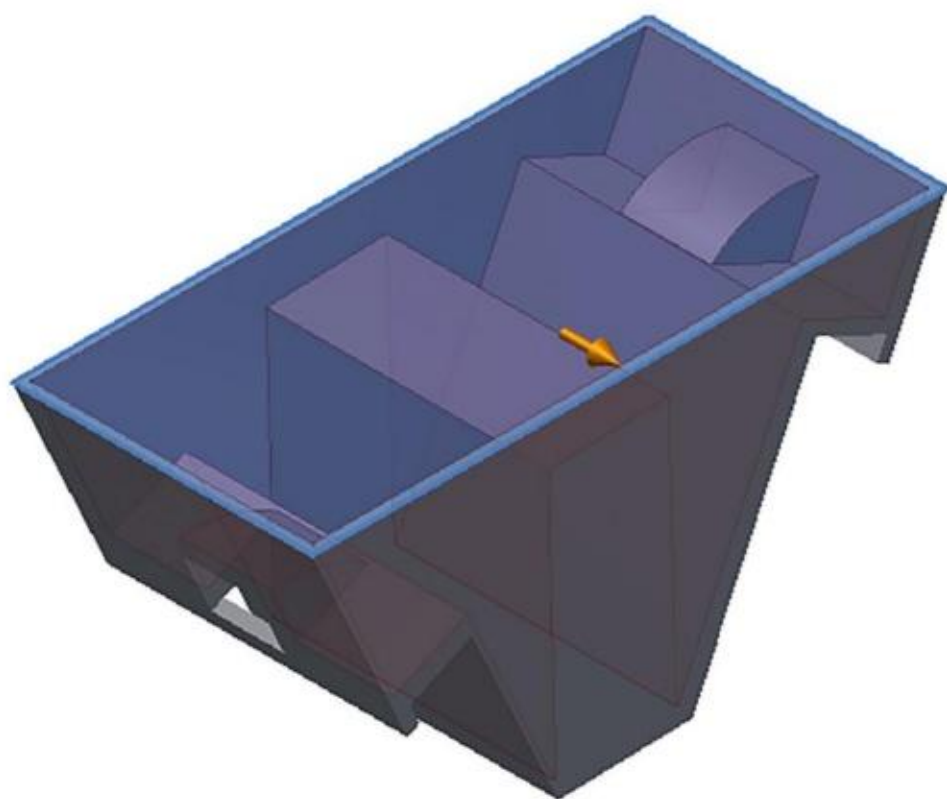


图3-33 去除支架主体的内填充



拓展阅读

抽 壳

抽壳指从零件内部去除材料，创建一个具有指定厚度的空腔，抽壳命令效果如图3-34所示。可以选择要删除的面以创建开口，清除链选面选项以允许选择单个相切的面。

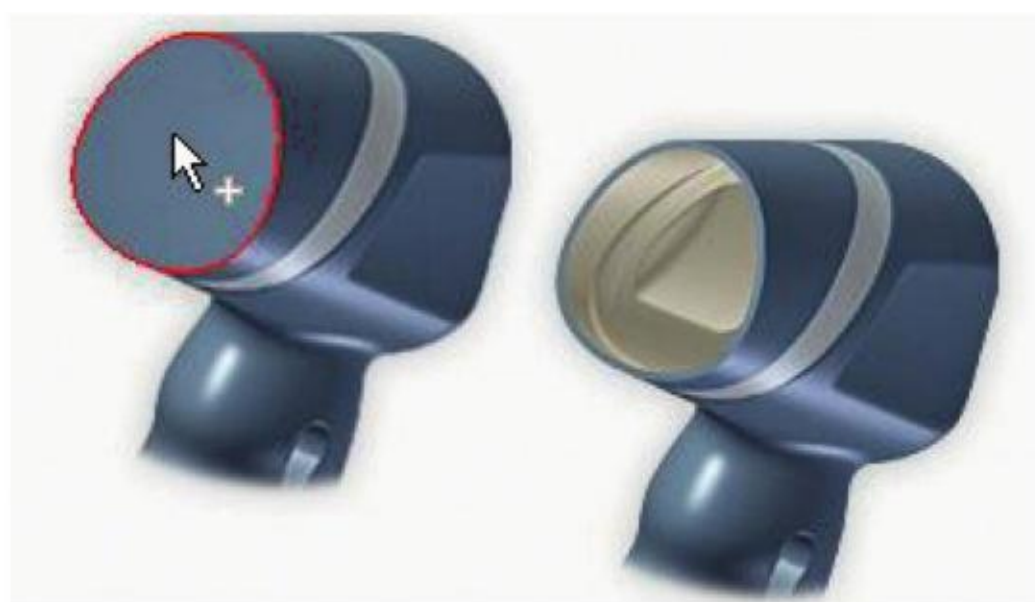


图3-34 抽壳命令效果



讨论 & 交流

在多功能手机支架的设计中，去除内填充的目的是什么？内填充值是否越低越好？它会对产品的哪些方面产生影响？



生活中的手机支架造型多样,如图3-35所示。请自主设计一个个性化手机支架,它的个性化既可以体现在外观上,也可以体现在功能上。



图3-35 造型各异手机支架

三、应力分析

(一) 进入应力分析环境

在零件环境下,单击“环境”选项卡“开始”面板上的“应力分析”按钮,进入应力分析环境。

单击“应力分析”选项卡“管理”面板上的“创建分析”,打开“新建分析”对话框,指定名称,单击“确定”按钮,激活应力分析命令。

(二) 创建边界条件

指定材料。单击“应力分析”选项卡“材料”面板上的“指定”按钮,打开“指定材料”对话框。单击“替代材料”,选择“ABS 塑料”。

固定约束。单击“应力分析”选项卡“约束”面板上的“固定约束”,打开“固定约束”对话框。单击“位置”,选择手机支架底面作为固定面。如图3-36所示。

添加力。单击“应力分析”选项卡“载荷”面板上的“力”按钮,打开“力”对话框。单击“位置”,选择支撑部分的侧面,单击“大小”,输入数值10 N,为支撑部分的侧面添加10 N的力,如图3-37所示。用同样的方法,在另一侧添加同样大小、垂直于侧面向

下的力；再用同样的方法，为支撑凹槽处的充电线凹槽两侧各添加 5 N 的力。

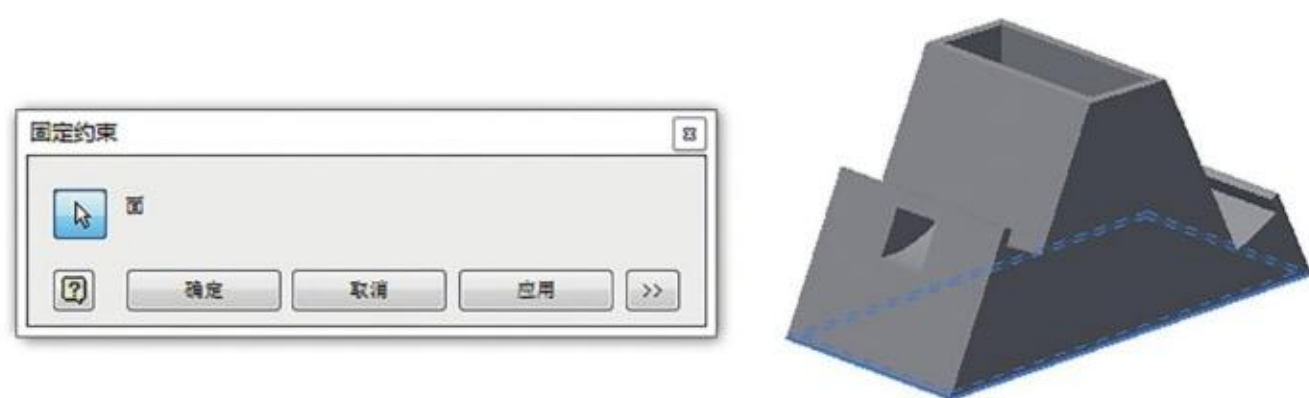


图 3-36 添加固定约束

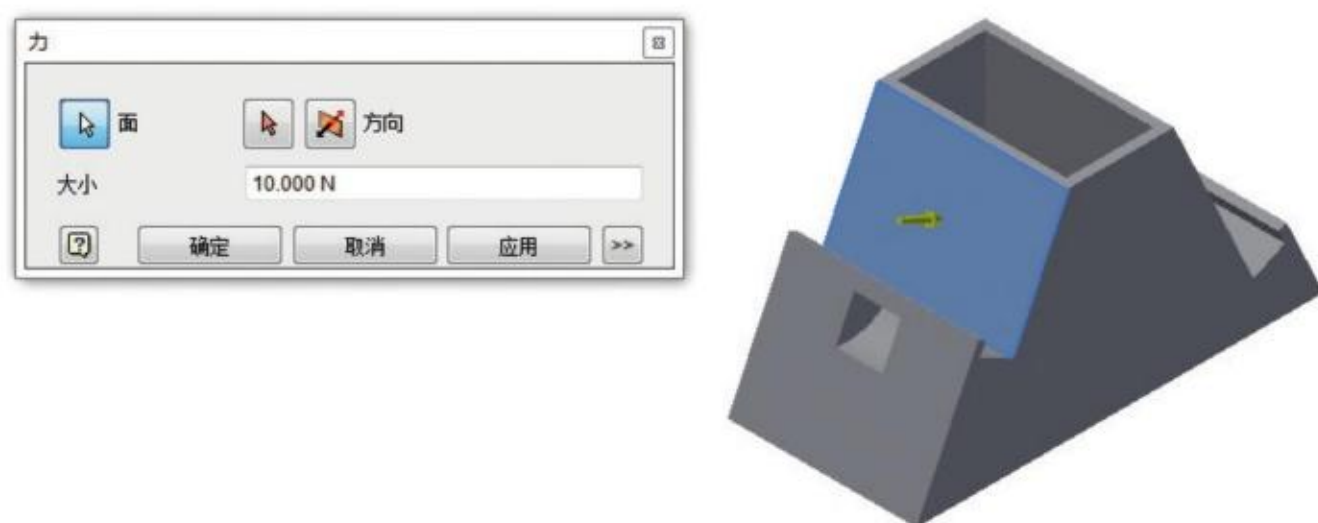


图 3-37 添加力

(三) 查看应力分析结果

运行分析。单击“应力分析”选项卡“求解”面板上的“分析”按钮，打开“分析”对话框，点击“运行”开始进入分析。

查看分析结果。应力分析结果如图 3-38 所示，由于目前状态下，支架的安全系数最小值大于等于 15，所以图中未出现颜色变化的区域。同时，还可以在“应力分析”浏览器中的“结果”目录下查看其他分析结果。

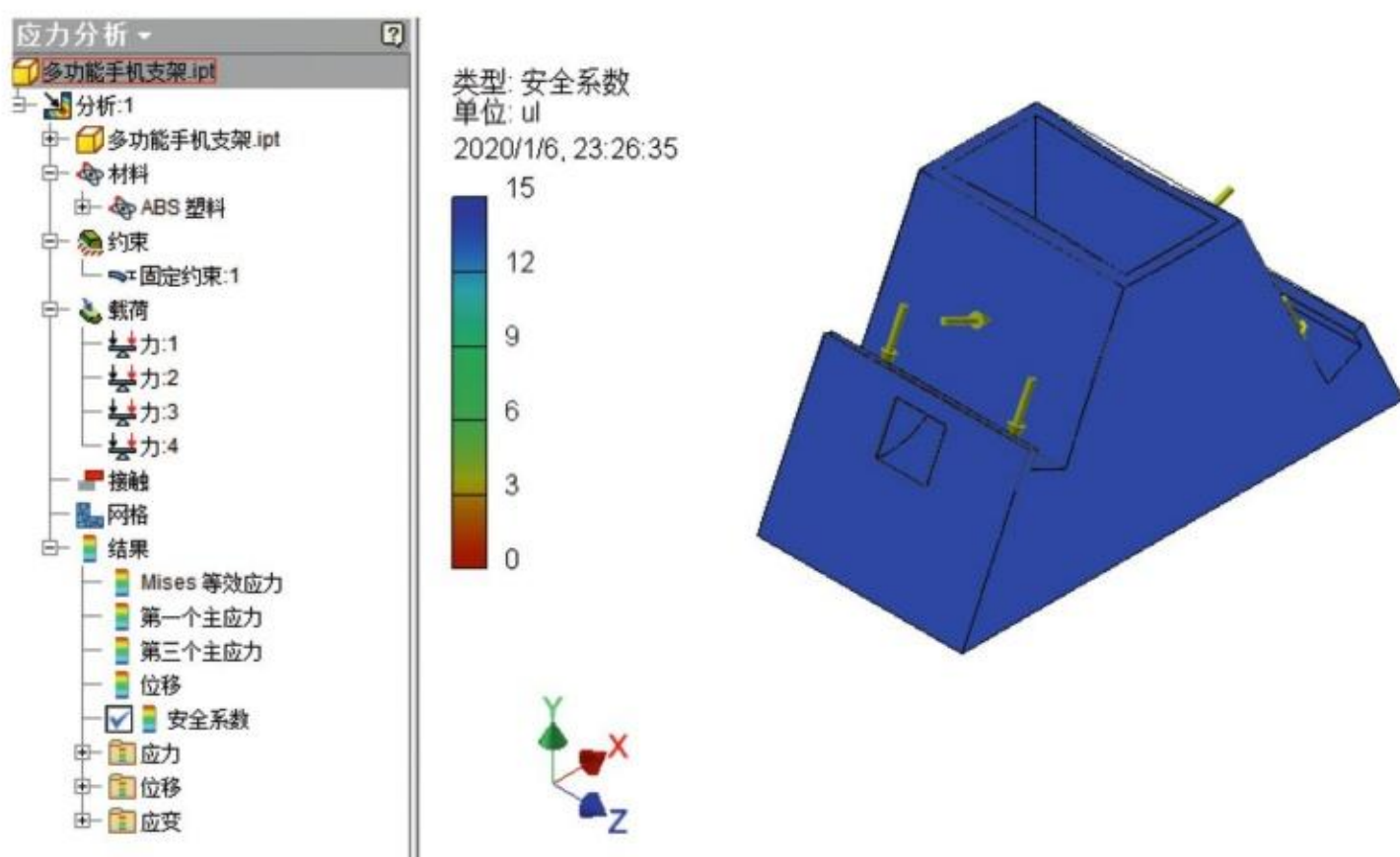


图 3-38 应力分析结果 1



应力分析

应力分析计算的应力结果有等效应力、最大主应力、最小主应力等。对用户来说，应力分析结果中一个重要的量是“安全系数”。三维设计软件应力分析的安全系数是基于计算的等效应力结果和已知的材料屈服强度计算出来的。在一个

结构中，材料在高应力区，其安全系数就低，在低应力区，安全系数就高。当等效应力等于材料的屈服强度时，安全系数等于1，材料在该处就会发生屈服，结构就会失效。在工程设计中，最小安全系数的值一般要求为1.5~5。



讨论 & 交流

优化是设计中的一个重要环节，借助三维设计软件应力分析提供的参数变化功能，可以帮助设计者进行决策，从而实现设计优化。在保证设计零件符合产品安全要求、满足产品功能之外，也需要考虑成本等其他因素。请同学们思考，在满足产品安全要求的条件下，还可以对手机支架进行哪些优化。

四、模型优化

(一) 优化参数

降低手机支架的内部填充率，将外壳厚度由原来的2 mm改为1 mm。

(二) 运行分析并查看分析结果

保持原有边界条件不变，运行分析，应力分析结果如图3-39所示。此时，支架的安全系数最小值为6.84，图中出现了颜色变化的区域。

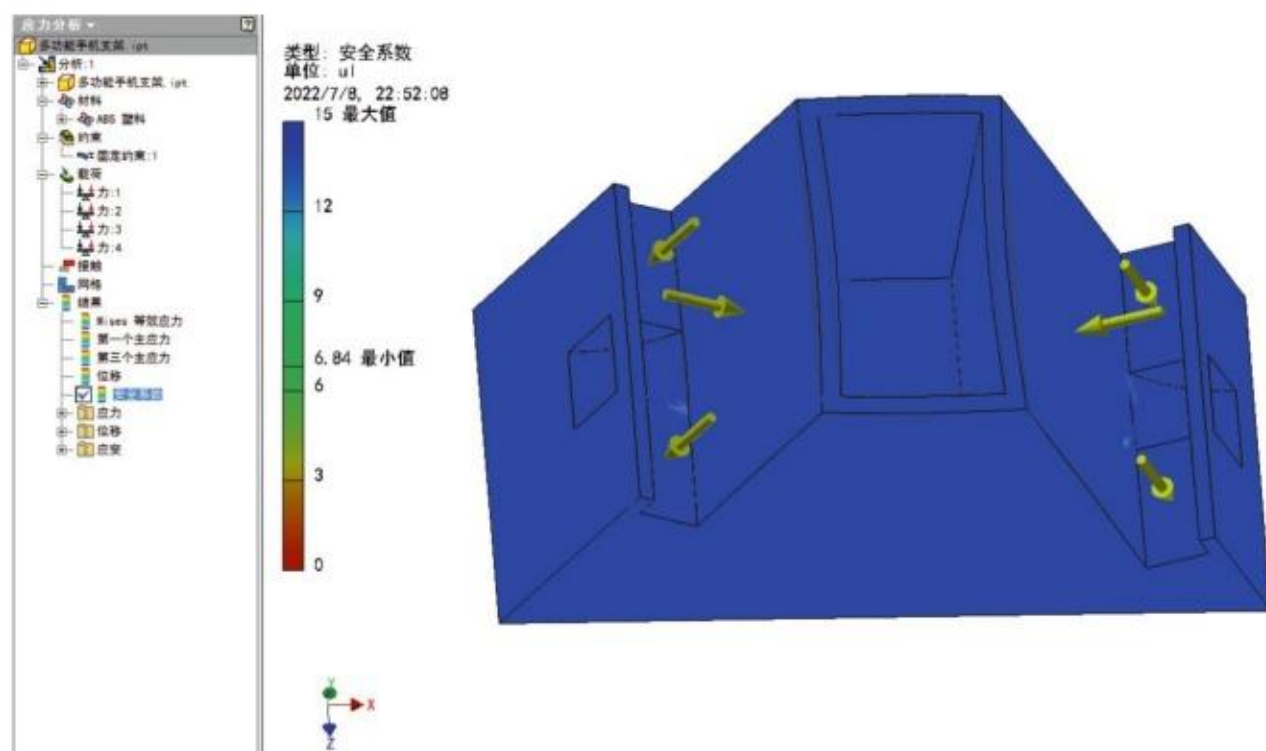


图3-39 应力分析结果2

设计 & 操作

经过分析我们发现，外壳厚度为 1 mm 时，支架的安全系数最小值为 6.84，仍能满足产品安全要求。请同学们设计一个方案，测试并分析当手机支架在承受多大重量的物体时，支架零件会失效（最小安全系数接近 1）。

案例

港珠澳大桥建设中三维建模的应用

港珠澳大桥（图 3-40）是连接香港、珠海和澳门的超大型跨海通道，横跨珠江口伶仃洋海域，全长约 55 km。港珠澳大桥的建设，推进了粤港澳大湾区建设，支持香港、澳门更好融入国家发展大局，为实现中华民族伟大复兴更好发挥作用。



图 3-40 港珠澳大桥

由于地质结构复杂、施工环境恶劣、地层与高抗震设防标准存在着巨大差距，桥梁从开工建设到完工通车，一路面临着种种超乎想象的困难与挑战。

团队利用三维建模技术制作了所有桥梁、隧道和人工岛屿的模型，如图 3-41 所示，很好地展示了如何利用参数化技术解决复杂桥梁设计中的技术问题。同时，三维模型直观的显示效果让团队间沟通效率有所提升。



图 3-41 港珠澳大桥设计效果图

五、二维机械加工图生成

新建一个工程图文件，进入工程图环境。单击“放置视图”选项卡“创建”面板上的“基础视图”按钮，打开“工程视图”对话框，在对话框中选择需要创建视图的“多功能手机支架”零件。在“工程视图”对话框中，分别设置视图的方向、缩放比例、样式，如图3-42所示。

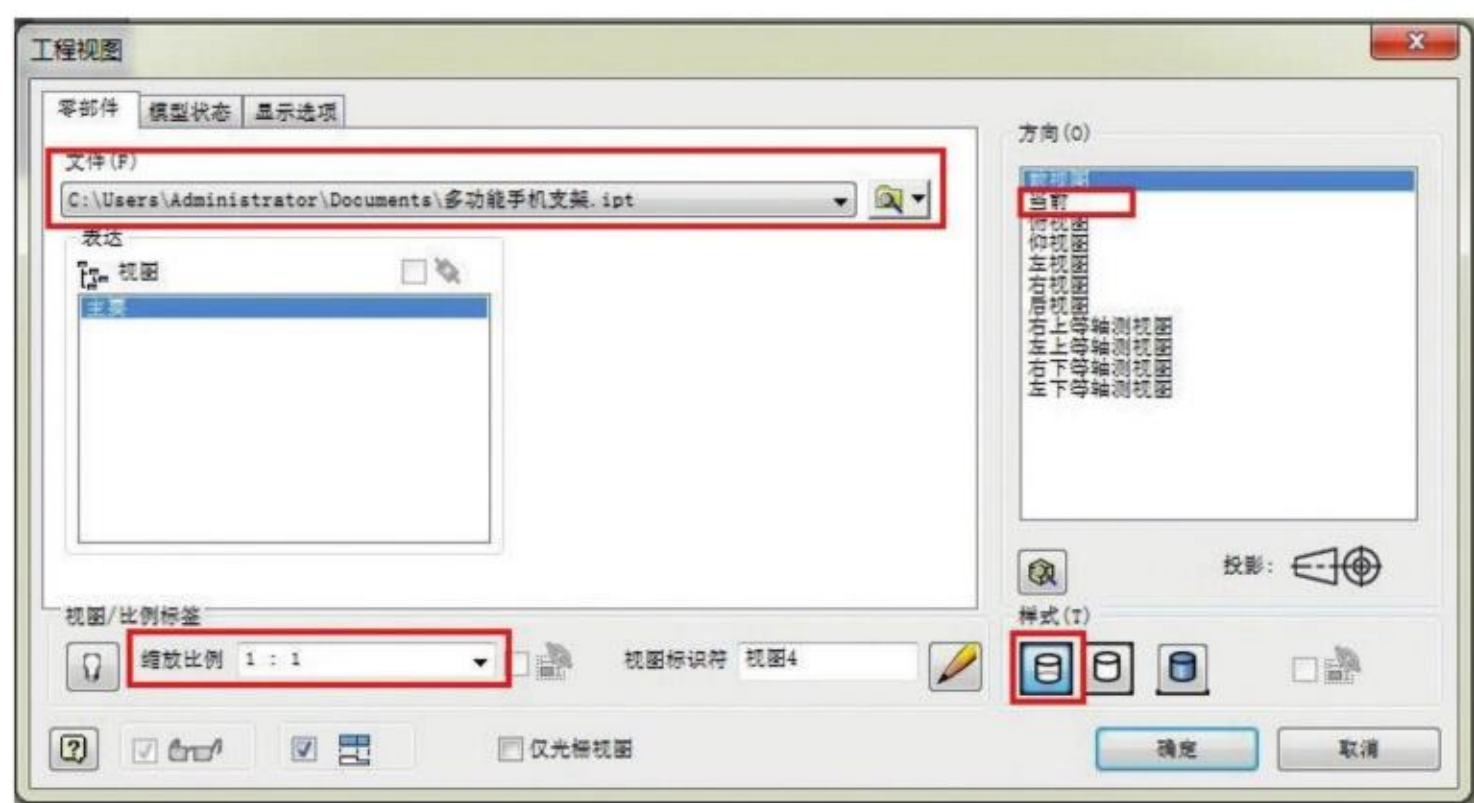


图3-42 创建基础视图

创建好的基础视图如图3-43所示。

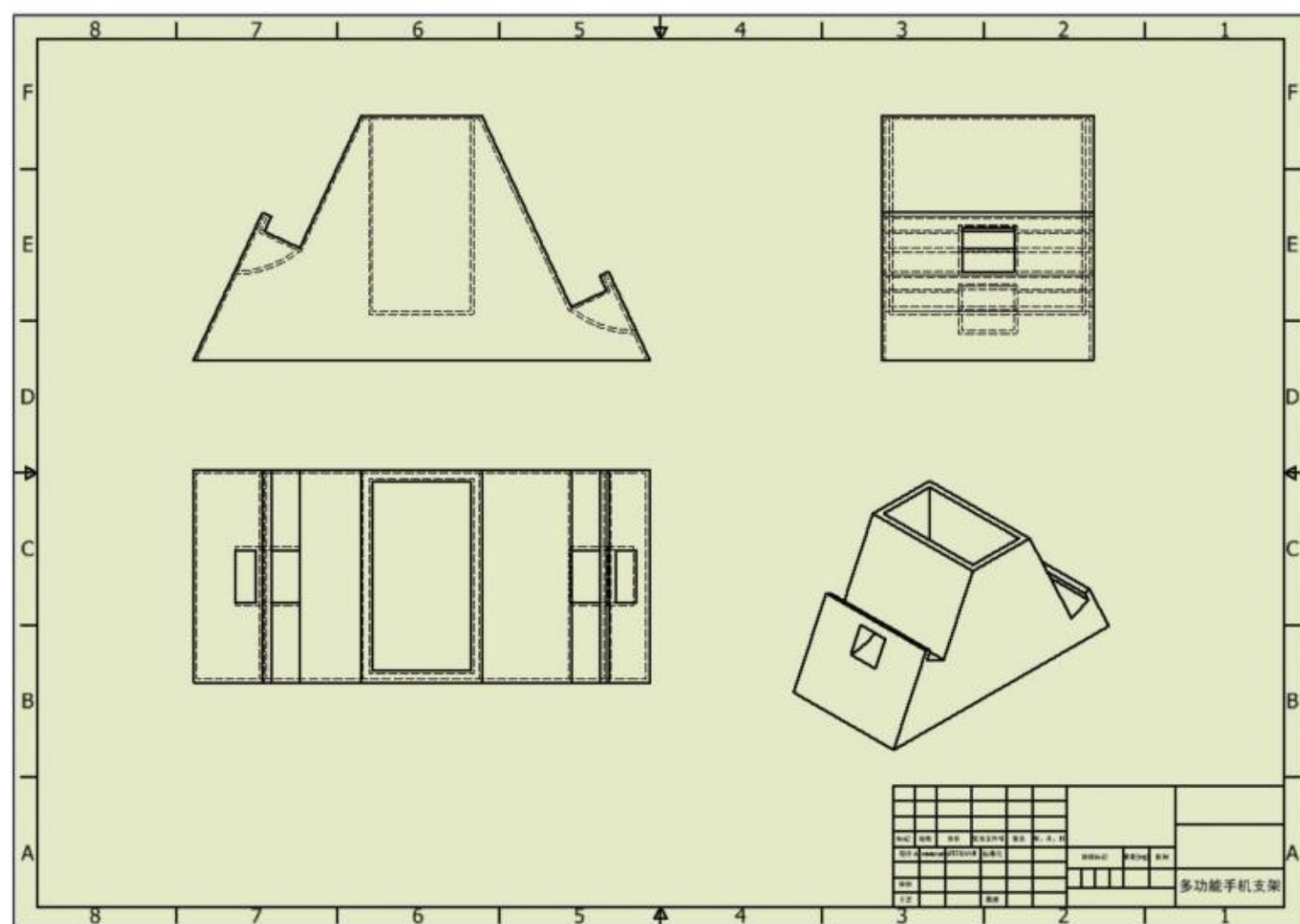


图3-43 多功能手机支架基础视图

在“标注”中选择“尺寸”，依次标注零件各个方向上的尺寸。标注好尺寸的二维机械加工图如图3-44所示。

第 3 节 组合模型设计与切片

学习目标

1. 学会对三维数字模型进行渲染。
2. 学会设计简单组合结构的三维数字模型，并对设计好的三维数字模型进行装配。
3. 理解切片软件的主要参数，学会使用切片软件对所设计的三维数字模型进行切片，并转换成三维打印机的运行指令文件。

三维设计软件不仅可以完成零件的建模，还可以在部件中模拟完成零件的组装，使组装好的模型运动起来。



图3-45 玩具

玩具（图3-45）在生活中随处可见，给我们带来了很多乐趣。在各种玩具中，有一类舞动的玩具（图3-46），例如，通过摇动手柄就可以使其鼻尖上的球上下跳动的海狮，自由旋转的芭蕾舞者等。通过观察我们可以发现，舞动的玩具是由多个不同零件组成的，不同玩具的运动方式也不一样，有上下运动、旋转运动、左右运动等。各个零件是如何装配在一起实现这些不同运动的呢？接下来，让我们一起探索并设计一个舞动的玩具吧。



图3-46 舞动的玩具

常见的传动机构

生活中很多物品都使用了传动机构，如脚踏缝纫机、自行车、搅拌机等。通过传动机构，可以根据需求，改变动力所提供的运动方式、方向或速度。常用机械传动方式有齿轮传动、带传动、链传动和凸轮机构传动等。

齿轮传动（图3-47）由分别安装在主动轴及从动轴上的两个齿轮相互啮合而成，可以实现回转运动和直线运动之间的转换，是机械传动中应用最为广泛的一种传动方式。



图3-47 齿轮传动

带传动（图3-48），一般由主动轮、从动轮和传动带组成，利用张紧在带轮上的传动带进行运动或者动力传递。根据工作原理的不同，可分为摩擦带传动和啮合带传动两类。



图3-48 带传动

链传动（图3-49）由主动链轮、链条和从动链轮组成，工作时主动链轮的齿与链条的链节相啮合，带动与链条相啮合的从动链轮来传递运动和动力。



图3-49 链传动

凸轮机构（图3-50）一般由凸轮、从动件和机架组成。凸轮一般为主动件，通过凸轮的回转运动或往复直线运动带动从动件连续或间歇地摆动或移动。

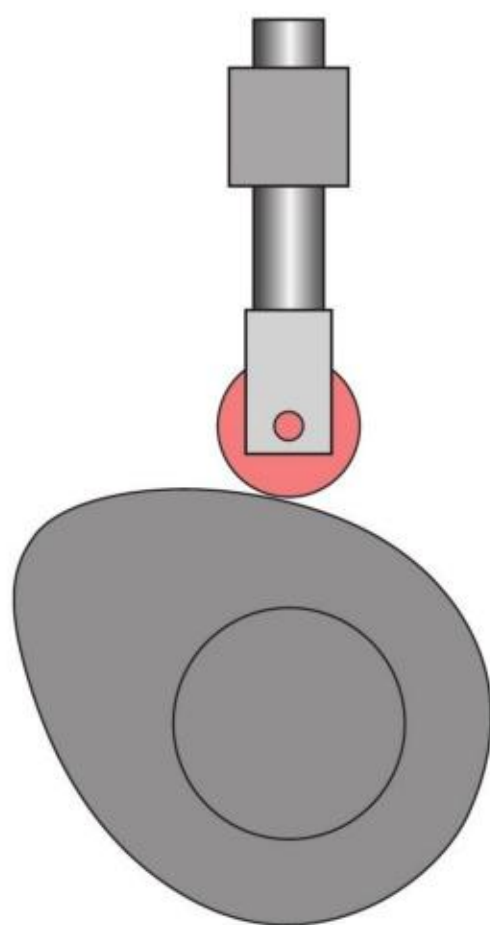


图3-50 凸轮机构传动

一、组合模型分析

假设要制作由手摇杆控制两个舞者上下运动的雙人舞玩具，在进行三维建模前，我们需要对其进行结构分析，并完成主要零件的草图绘制。

首先，我们可以选择通过凸轮机构传动的方式实现舞者的上下运动，需要使用支架、手摇杆、两个凸轮、两个舞者及舞者的支撑件等零件，如图3-51所示。

然后需要对零件进行草图绘制。以主零件支架为例，在设计时，应该考虑到它的形状和尺寸是否都能与其他零件进行合理装配。图3-52就是一个简易支架的草图设计，既包含了零件的主要尺寸，也在结构上留出了与手摇杆和舞者连接的圆孔。

最后，使用三维设计软件完成各个零件模型的设计。



图3-51 双人舞玩具组成零件

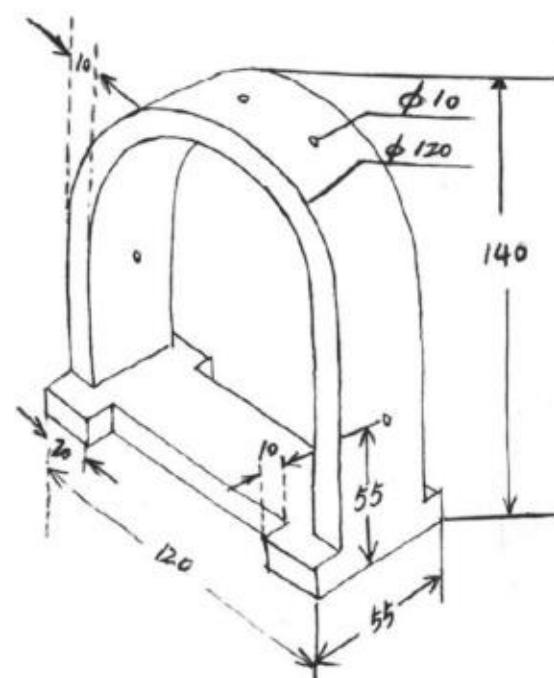


图3-52 支架草图

讨论 & 交流

1. 从打印的角度来看，图3-53、图3-54所示的两个不同造型的支架，哪个造型的支架更容易打印？为什么？

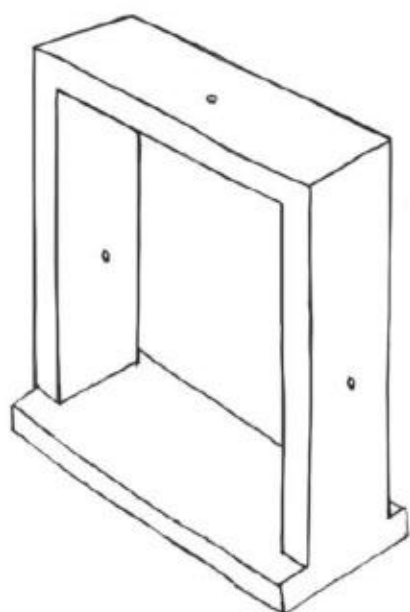


图3-53 支架造型1

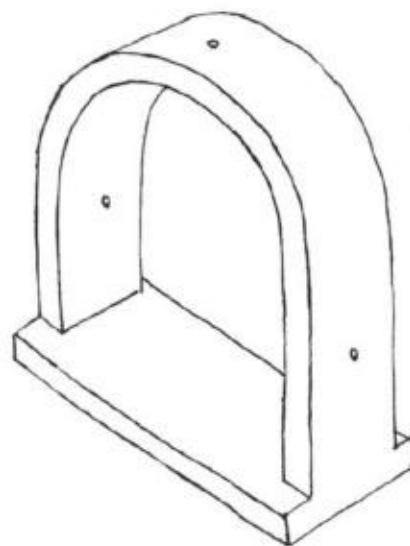


图3-54 支架造型2

2. 如图3-55所示, 如果要实现摇动手摇杆时京剧花旦水平移动的效果, 可以使用什么传动机构? 需要哪些零件?



图3-55 移动的花旦

二、模型渲染

三维模型的渲染是对模型的美化, 可根据具体软件功能和需求, 为模型设置相应的外观、材质、光照以及场景等。

以支架为例, 在材料浏览器和外观浏览器里选择“ABS塑料”和“黄色”, 对支架进行渲染, 如图3-56所示。也可根据喜好, 选择自己喜欢的外观。



图3-56 支架渲染

三、模型装配

在三维设计软件中, 可以模拟完成多个零部件的装配, 提前检验模型安装效果。装配过程中一般需确定一个主要的基准零件, 将其固定, 然后对其他零部件按照由内到外的原则依次进行位置或者运动方式的约束。

(一) 装配支架与手摇杆

新建标准部件, 如图3-57所示, 并保存。在创建的部件中, 将

支架、手摇杆、舞者和凸轮等都放置进来，并在浏览器里右击“支架”零件，选择“固定”，将支架固定，作为基准零件，如图3-58所示。



图 3-57 创建部件



图 3-58 固定基准零件

使用约束，选择“配合约束”，如图3-59所示。“选择1”为手摇杆表面，“选择2”为支架表面，两个面配合偏移量为10 mm。再次选择“配合约束”，“选择1”为手摇杆轴线，“选择2”为支架孔轴线，偏移量为0 mm，完成支架与手摇杆的装配。

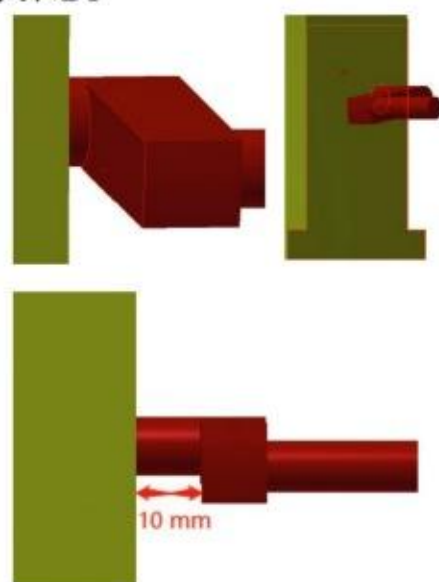
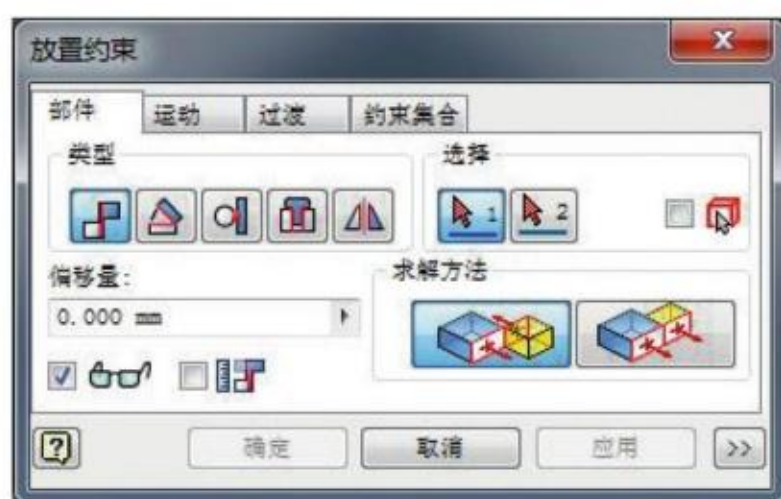


图 3-59 手摇杆与支架约束



拓展阅读

配合约束

配合约束是将选定的零部件面对面放置或者使其表面齐平，约束效果如图3-60所示。选择对象通常是一个零部件面，但也可以选择曲线、平面、边或点。

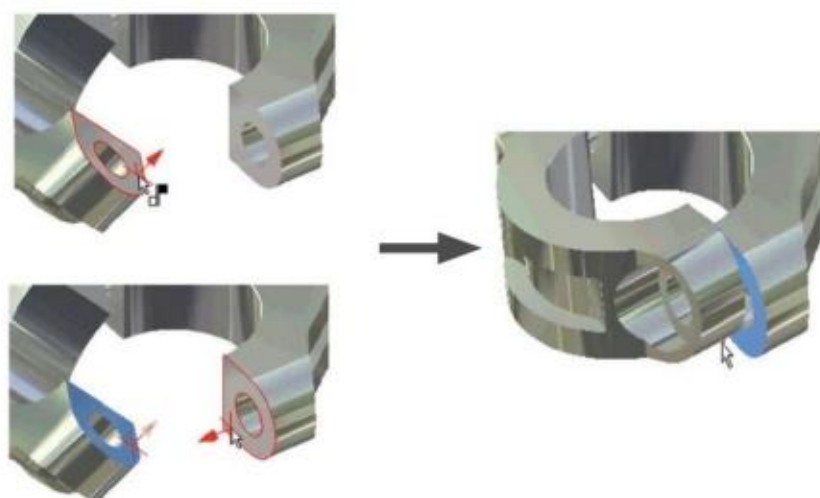


图 3-60 配合约束效果

(二) 装配凸轮

使用配合约束完成两个凸轮与手摇杆的装配，如图3-61所示。

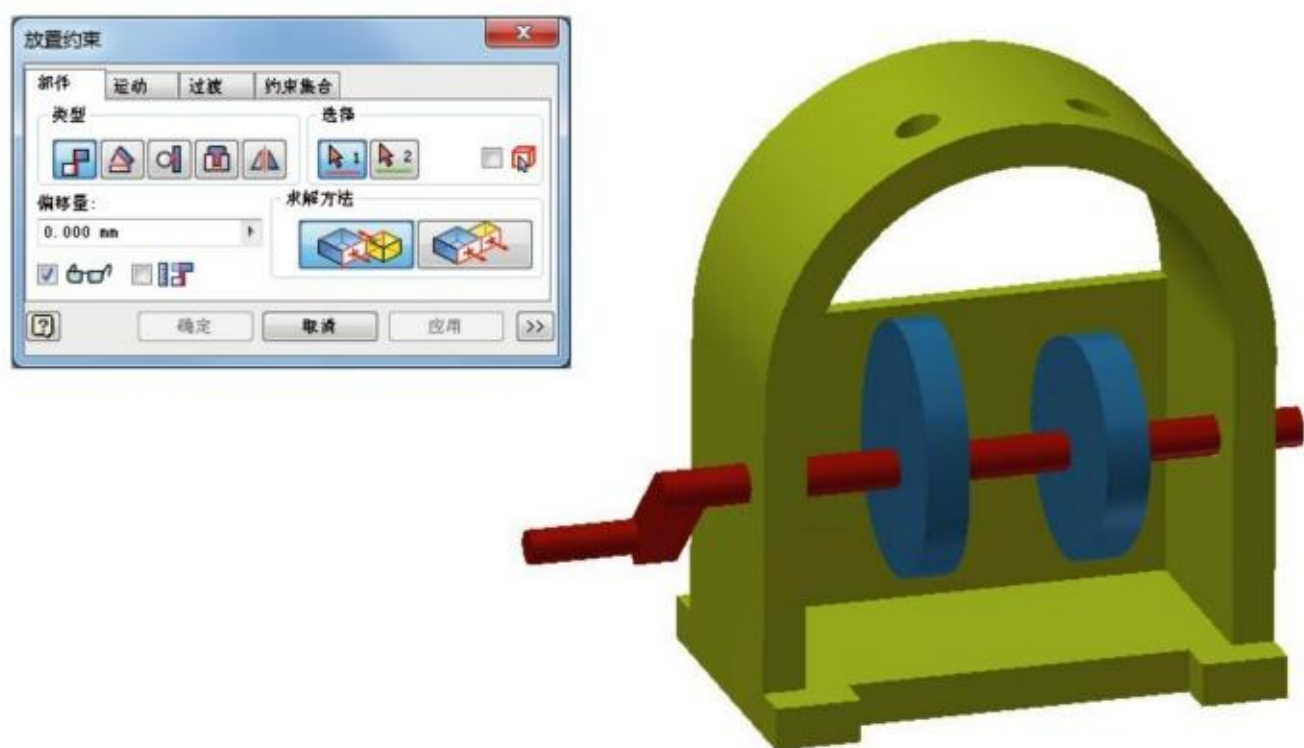


图3-61 凸轮与手摇杆约束

使用偏移量为25 mm的配合约束完成凸轮与支架两侧的位置约束，如图3-62所示。

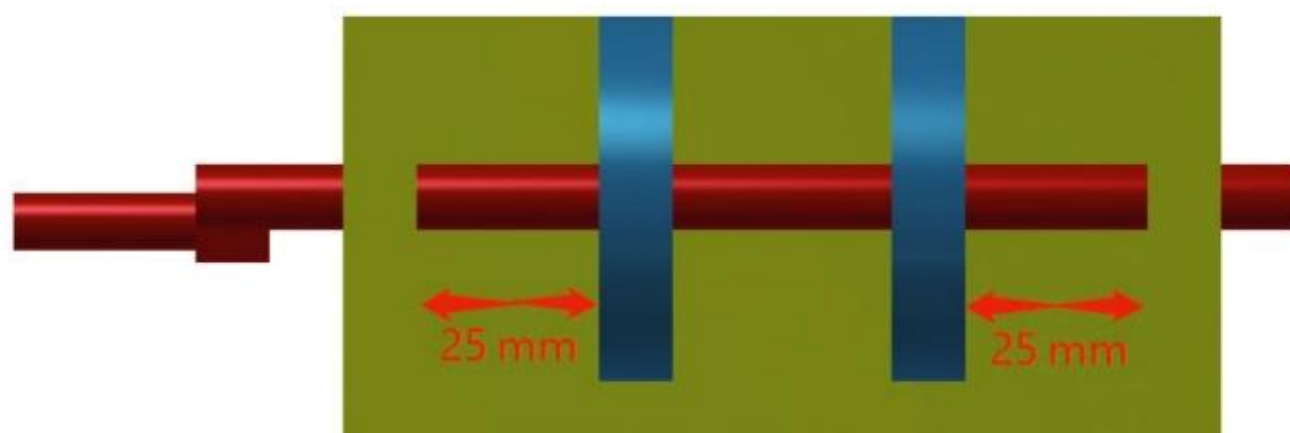


图3-62 凸轮与支架约束

使用约束中的“运动”，如图3-63所示，“选择1”为手摇杆的轴线，“选择2”为凸轮孔的轴线，传动比为1.000 u1，实现两个凸轮与手摇杆的同步运动。

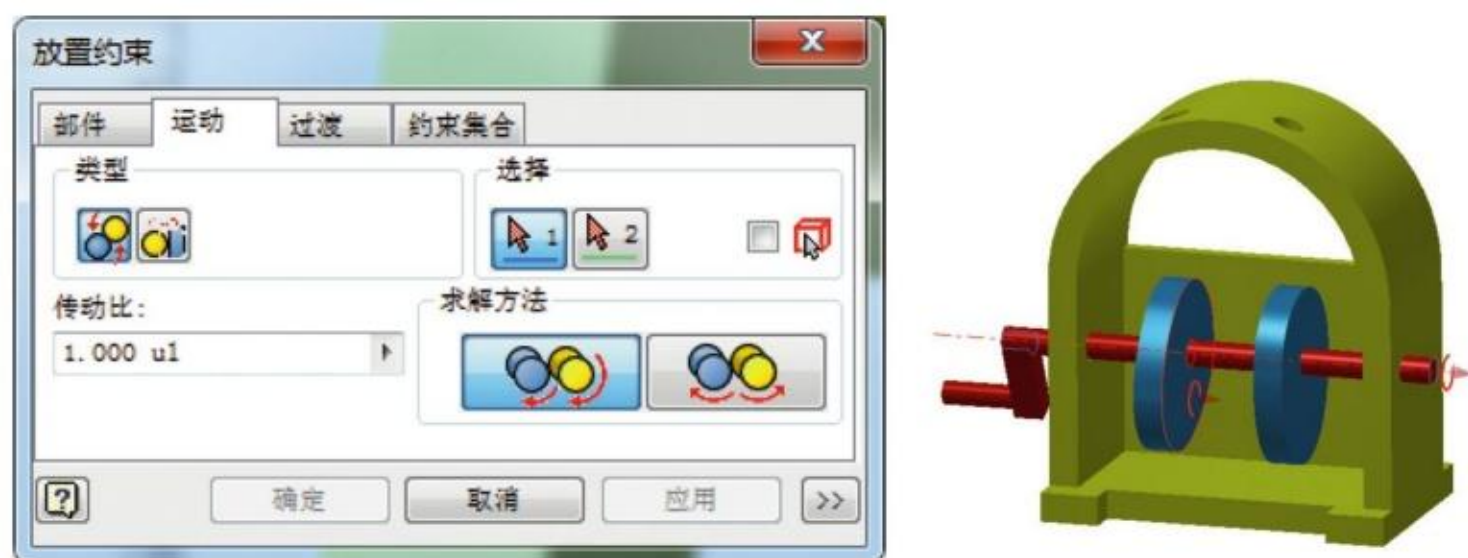


图3-63 凸轮与手摇杆运动约束

讨论 & 交流

如果使用运动约束制作时钟，分针和秒针的传动比是多少？

拓展阅读

运动约束

运动约束主要是指两个转动零件之间的运动关系，通常用于轴承、齿轮和带轮，约束效果如图3-64所示。

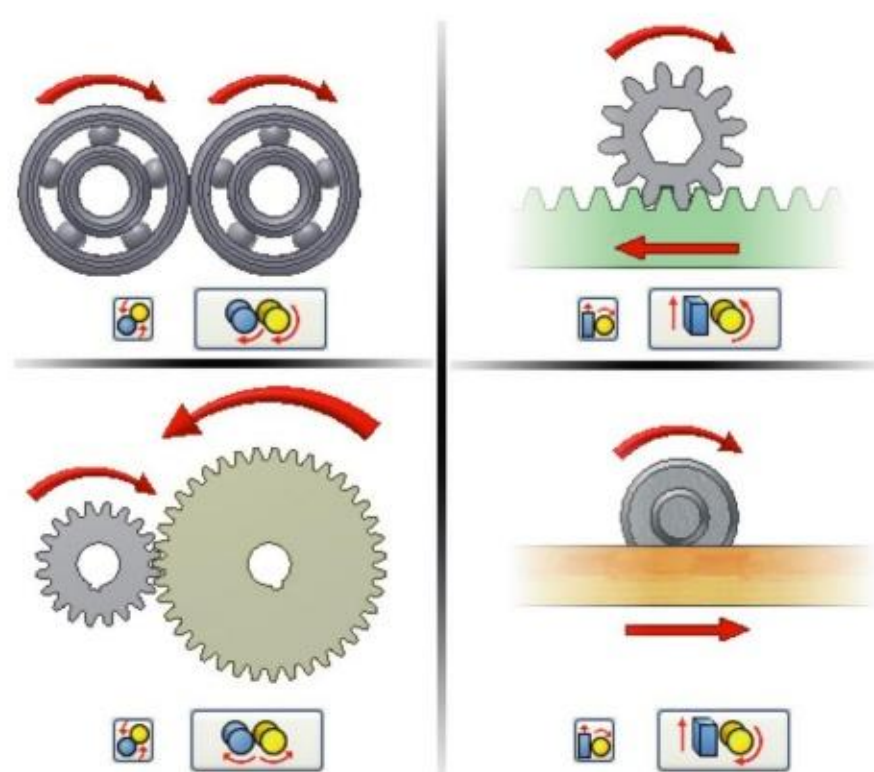


图3-64 运动约束效果

（三）装配舞者

使用配合约束，完成两个舞者与支架的装配，如图3-65所示。再使用插入约束，如图3-66所示，完成舞者与支撑件装配，“选择1”为舞者零件的底面，“选择2”为支撑件中孔的下表面。



图3-65 舞者与支架约束



图3-66 舞者与支撑件约束



插入约束

插入约束是将平面配合和轴配合作为单个约束放置在选定的圆柱面或边之间，约束效果如图3-67所示。

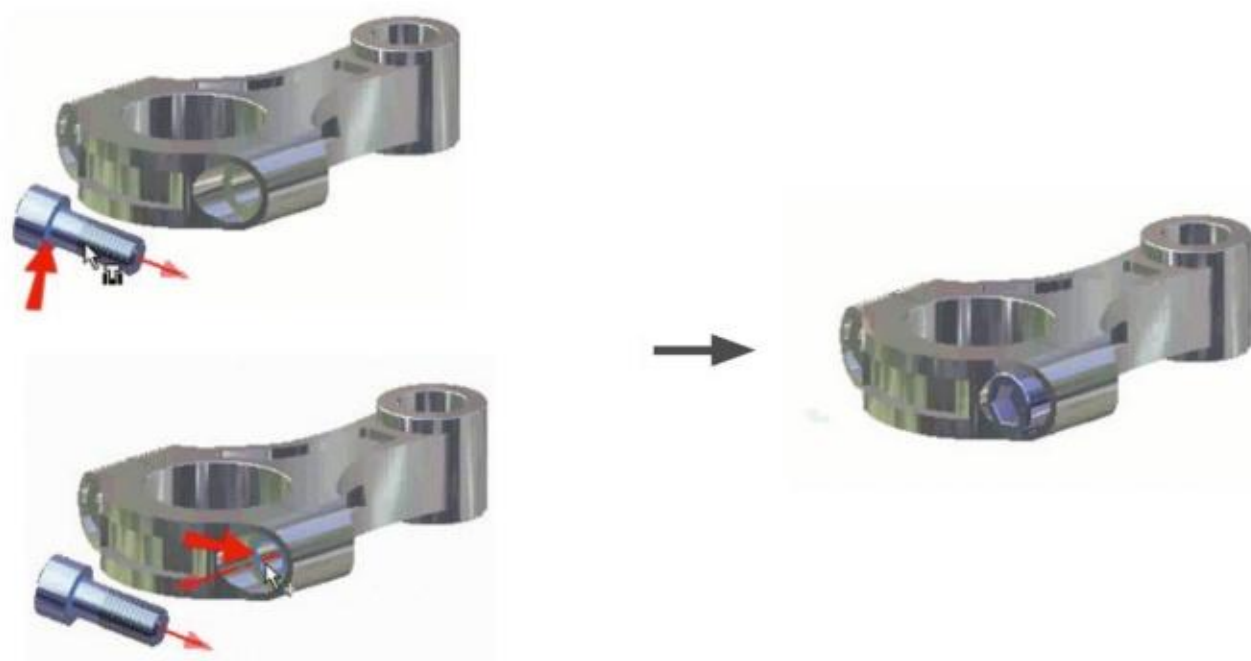


图3-67 插入约束效果

（四）装配支撑与凸轮

使用相切约束，“选择1”为支撑零件的底面，“选择2”为凸轮的曲面，求解方法为“外边框”，完成支撑与凸轮的装配。



相切约束

相切约束用于定位面、平面、圆柱面、球面、圆锥面和规则的样条曲线，使它们相切，约束效果如图3-68所示。相切约束将删除一个线性平动自由度。圆柱与平面相切时，它将删除一个线性自由度和一个转动自由度。

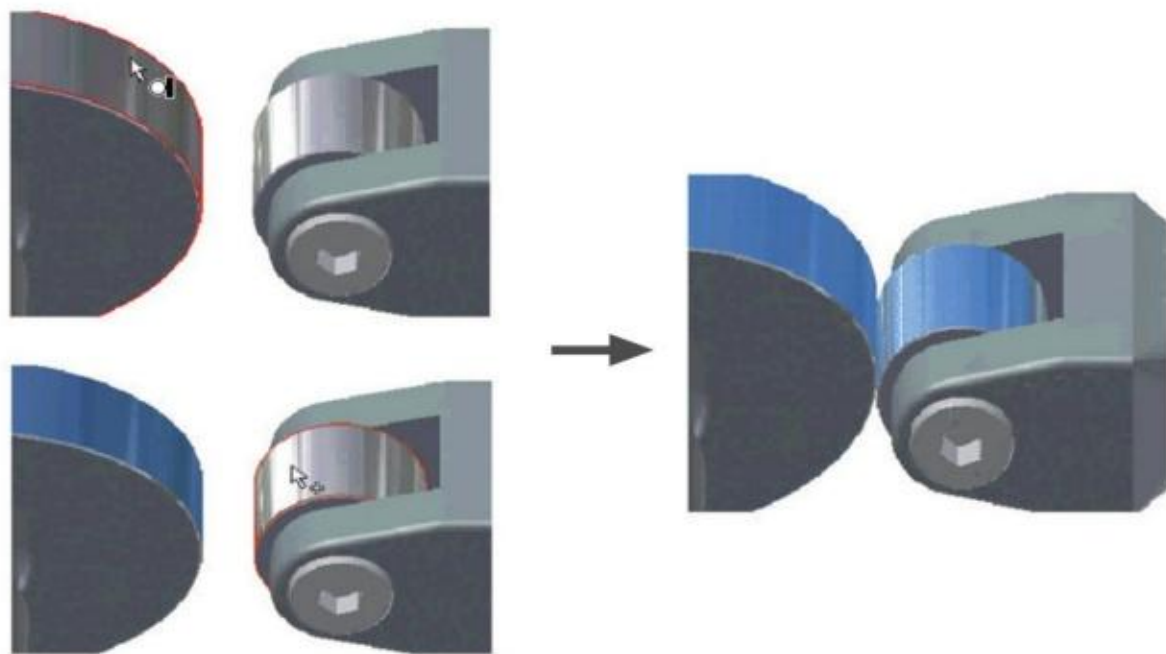


图3-68 相切约束效果

角度约束

角度约束能够控制边或平面之间的角度，约束效果如图3-69所示。

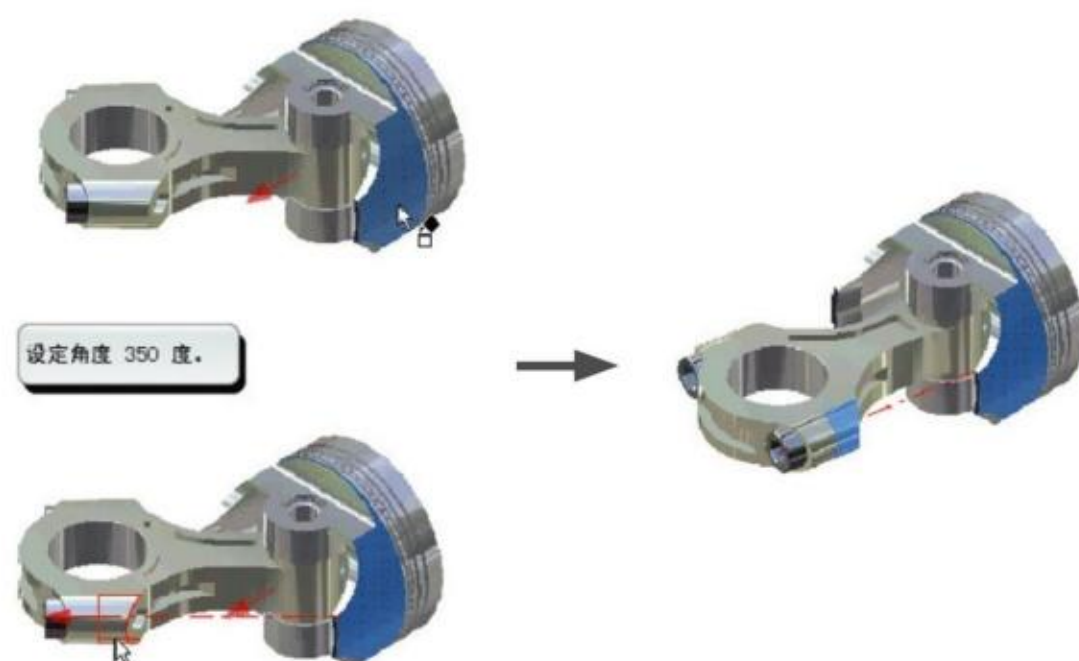


图3-69 角度约束效果

对称约束

对称约束指根据平面或平整面对称地放置两个对象，约束效果如图3-70所示。

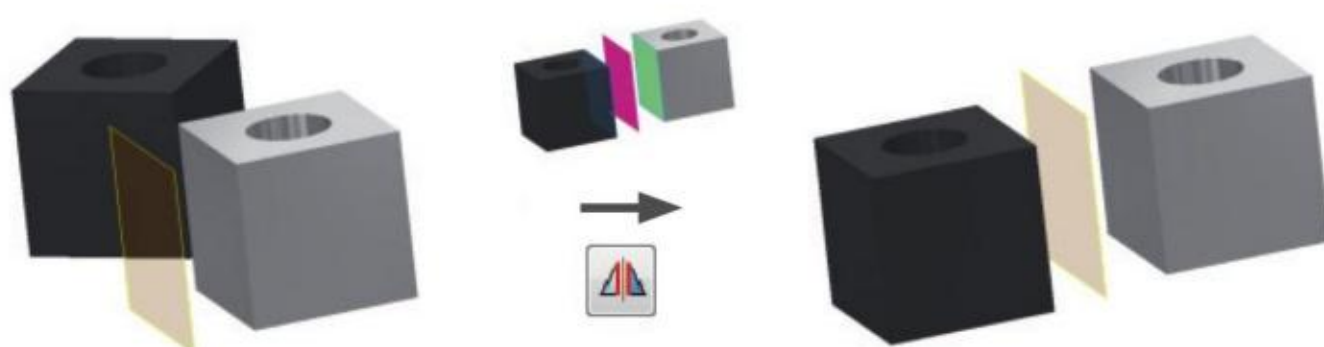


图3-70 对称约束效果

(五) 检查装配结果

摇动手摇杆观察运动效果，并选中所有零件，查看有无干涉（即检查零部件之间有无位置或体积的交叠）。如图3-71所示。



图3-71 干涉检查



设计 & 操作

尝试自主设计一个舞动的玩具，玩具的运动方式、造型等可以多种多样，如图3-72所示。请根据你的设计，填写表3-4，并完成各零件的模型设计与组装。



图3-72 不同的舞动的玩具

表3-4 舞动的玩具设计表

舞动的玩具设计表	
作品名称	
功能描述	
传动方式	
草图绘制	(可附纸)
其他	

四、模型切片

三维打印机是如何控制模型的打印层数、打印时间和打印路径的呢？其中，需要经过“模型切片”这一重要环节，计算形成一个打印文件，以片层的方式来描述模型，这个打印文件会精确地定义后续三维打印机工作时每一层模型的具体打印进程。

模型切片环节需要通过切片软件来完成。切片软件将三维模型细分为可以打印的薄层，然后计算其打印路径，也就是计算三维打印机喷头的运动路径。模型切片后，将得到的文件导入三维打印机，可以控制打印机根据切片软件预先设定好的参数、路径来进行工作。接下来，将以支架模型为例完成切片。

（一）生成STL文件

点击左上角应用程序菜单中的“导出”，选择“CAD格式”，如图3-73所示。在弹出的文件对话框中，点击保存类型下拉窗口，在其中勾选“STL文件”，勾选后可以根据需要更改文件名，如图3-74所示。点击“选项”，可更改单位等参数，如图3-75所示。最后，点击“保存”，生成零件的STL文件。

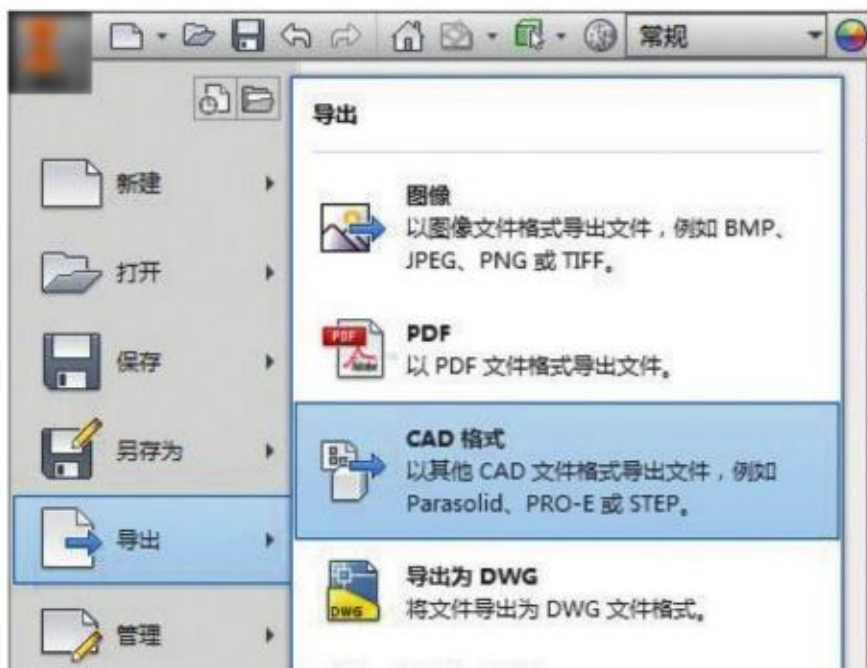


图3-73 以CAD格式导出文件

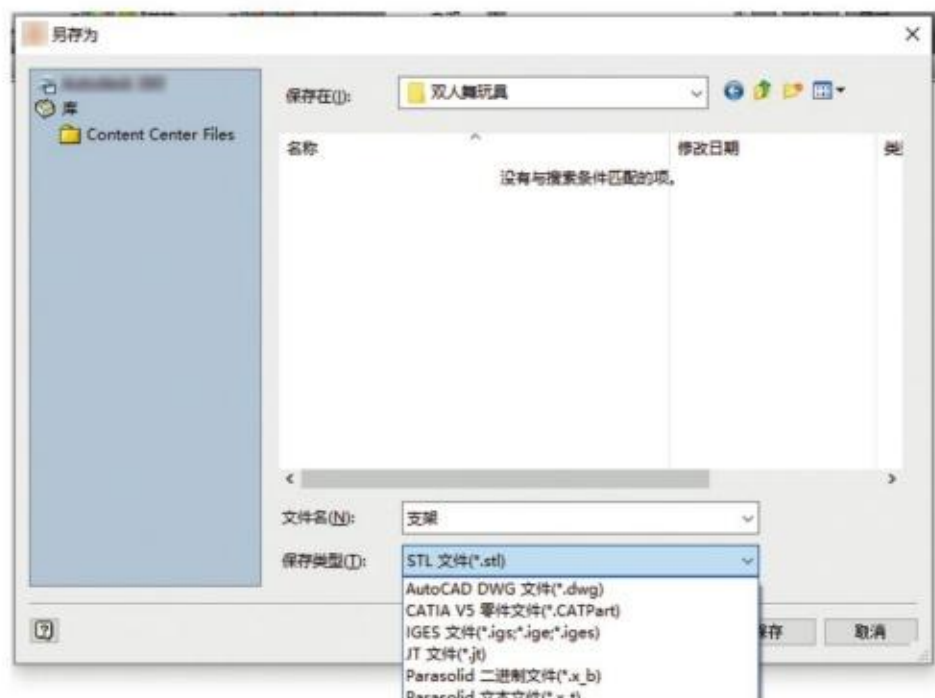


图3-74 生成STL文件

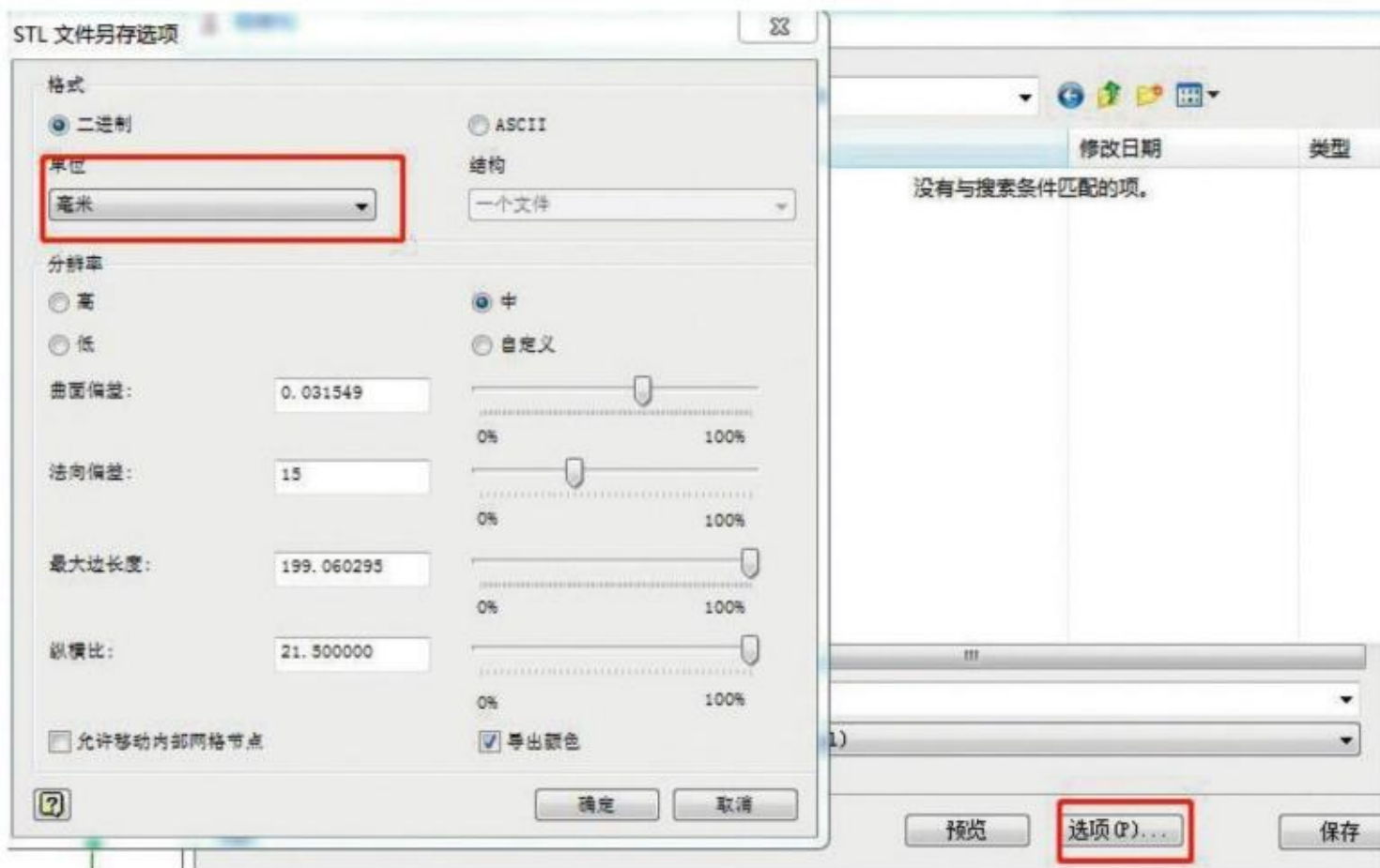


图3-75 更改单位等参数

（二）切片参数的调节

目前，市面上的FDM桌面级三维打印机厂商都会提供配套的三维切片软件，以匹配其三维打印机的性能特点。不同品牌、不同型号的三维打印机通常会对应不同的切片软件，但切片过程具有共性。

本书以一款开源切片软件为例说明切片过程。

1. 认识切片软件

(1) 界面：打开切片软件后，标准模式面板如图3-76所示，左侧是参数配置面板，右侧是模型显示区域。

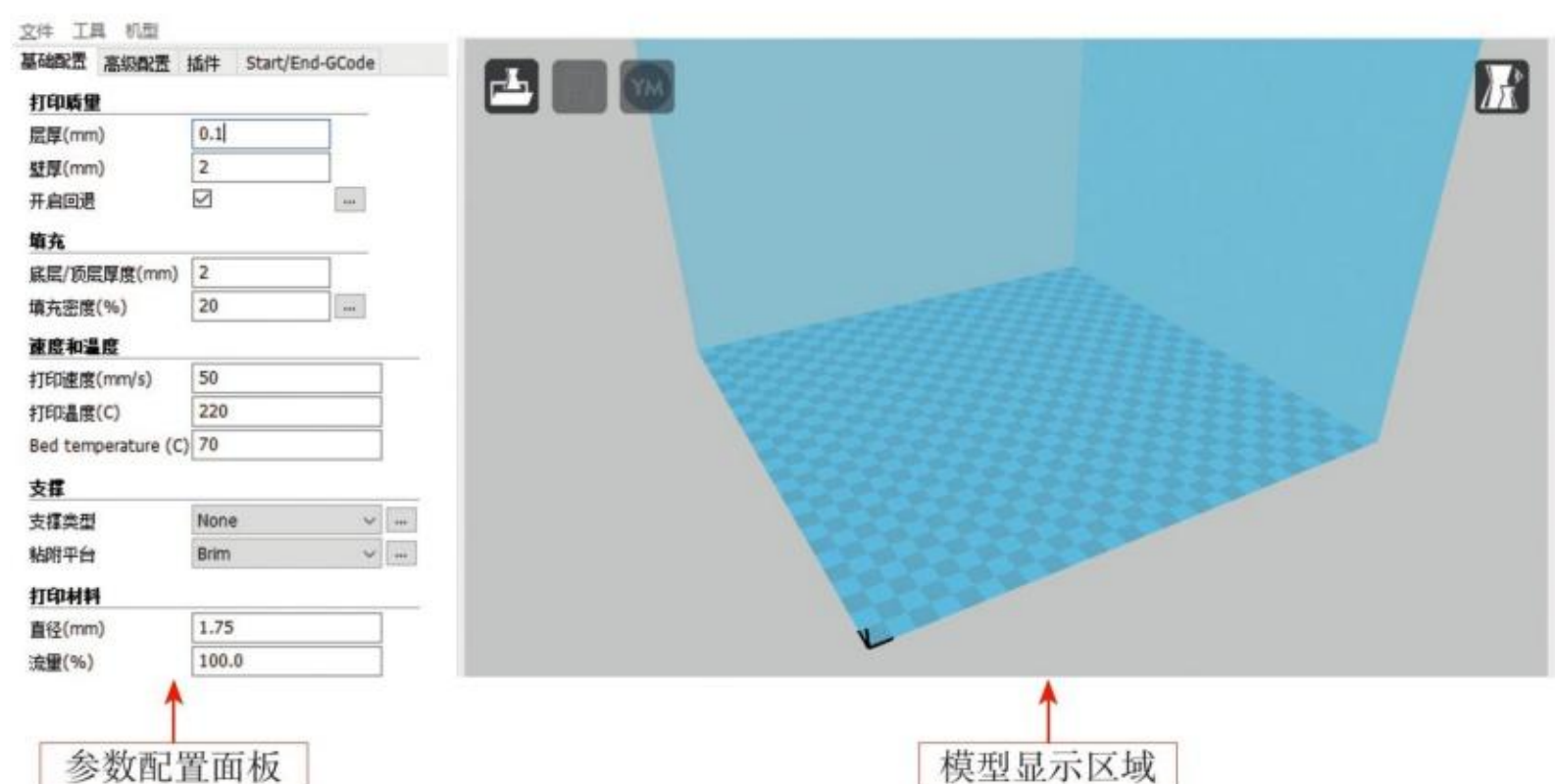


图3-76 切片软件界面

(2) 参数配置面板：在打印模型时，需要设置一些相关参数，这些参数都跟模型的打印效果息息相关，参数设置在切片软件的参数配置面板中完成，如图3-77所示。



图3-77 切片参数设置

2. 切片设置

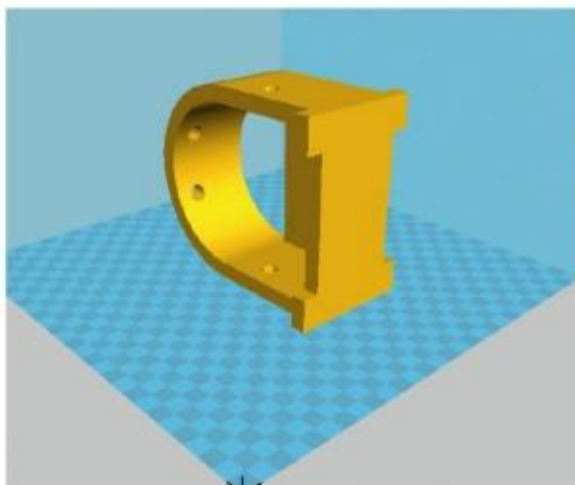
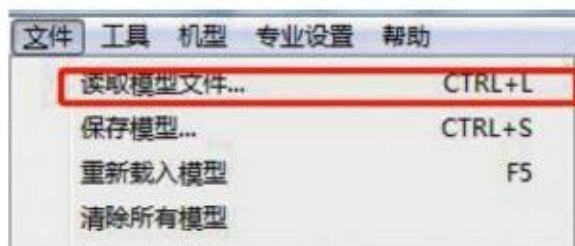


图 3-78 读取模型文件

(1) 导入文件。点击“文件”，选择“读取模型文件”，将 STL 文件导入进来，如图 3-78 所示。

(2) 调整模型位置和大小。使用旋转工具、缩放工具和镜像/垂直翻转工具，将模型调整到合适的切片位置以及大小，如图 3-79 所示。

(3) 设置基础配置。对于支架模型来说，为了缩减打印时间，可以将打印层厚设置为 0.2 mm；由于硬度要求不高，可以将底层/顶层厚度设置为 0.6 mm，填充密度设置为 20%；从结构上看，打印不需要支撑，支撑类型选择“None”；底部面积较大，为了避免打印时产生翘边，可以加个底，粘附平台选择“Brim”。如图 3-80 所示。

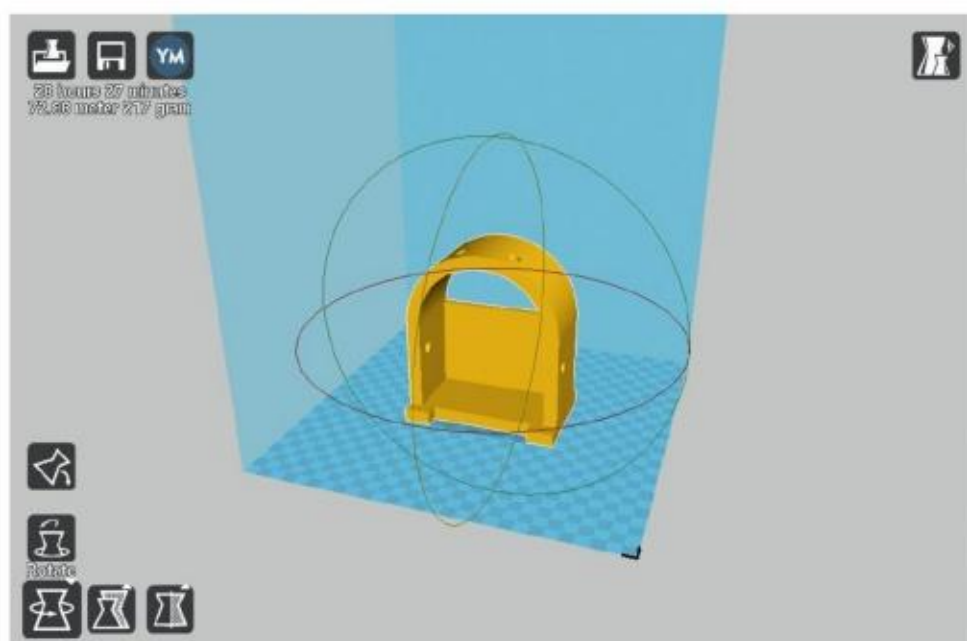
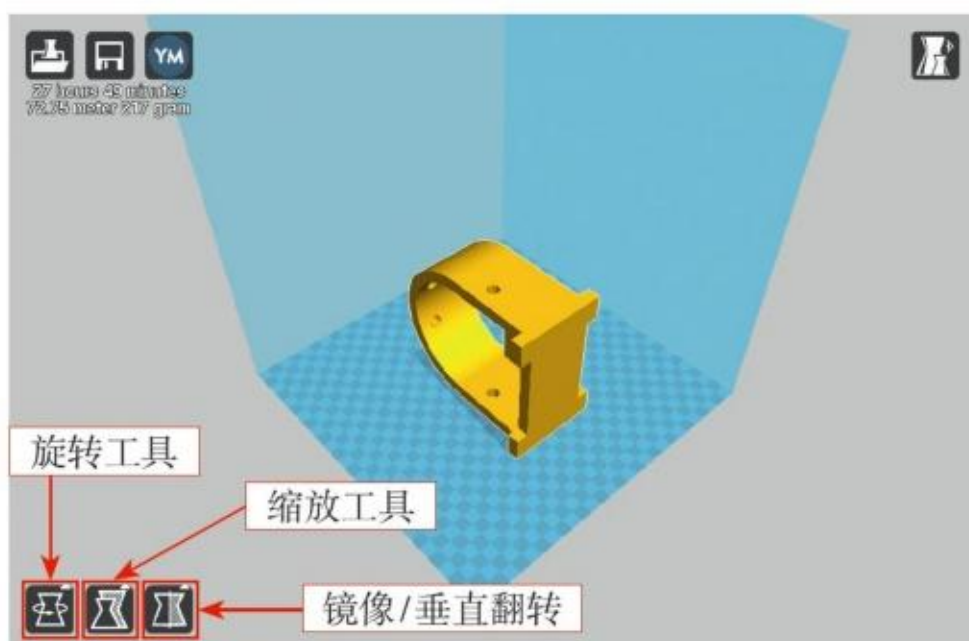


图 3-79 调整模型位置和大小

基础配置	高级配置	插件	Start/End-GCode
打印质量			
层厚(mm)	0.2		
壁厚(mm)	0.6		
开启回退	☒		...
填充			
底层/顶层厚度(mm)	0.6		
填充密度(%)	20		...
速度和温度			
打印速度(mm/s)	50		
打印温度(C)	220		
Bed temperature (C)	70		
支撑			
支撑类型	None	▼	...
粘附平台	Brim	▼	...
打印材料			
直径(mm)	1.75		
流量(%)	100.0		

图 3-80 设置基础配置



支撑类型与粘附平台

支撑类型：在支撑类型设置中，可以选择在哪些地方打印模型的支撑。可以选择不要支撑（“None”选项），也可以只在需要的地方打印支撑（“Touching buildplate”选项），还可以选择在任何悬空状态下都打印支撑（“Everywhere”选项）。

粘附平台：开启这个选项后，三维打印机会

在打印的模型下面打印一层底座，用来保证模型牢牢地粘附在板子上。这一功能可以在一定程度上防止模型底面翘边。“Brim”选项会使打印对象在第一层打印时向外围延伸，以扩大接触面，增强附着力。“Raft”选项则是指在打印模型之前，额外再打印一片面积比模型底面更大的平板，来增大打印对象底部与打印平台的接触面积。

（三）生成打印文件

参数设置完成后，点击软件左上角的“文件”，在下方选择“保存GCode”，生成打印文件。



设计 & 操作

请根据你自主设计的舞动的玩具中各零件的特征，思考适合它们的打印参数，并将它们打印出来进行组装。



思考 & 展评

请根据表3-5，对你自主设计的舞动玩具模型进行评价。

表3-5 舞动的玩具模型评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
产品设计	具有创新性			
模型渲染	造型美观			
组装检测	装配完整			
	运动方式合理			
切片打印	切片参数设置合理			

等级标准：A——优秀，B——良好，C——合格，D——待改进



思考 & 练习

请用本节学习的三维模型装配和切片的方法，设计一款手脚可活动的机器人玩具，并使用三维打印机完成模型打印。



本章小结

人类社会及自然界中的物体几乎都可以用三维模型表示。获取三维模型的方法有很多，最常用的是利用三维设计软件进行三维模型设计。目前，市场上三维设计软件的种类很多，它们的共同特点是利用一些基本的几何元素，如长方体、球体等，通过一系列操作，如平移、旋转、拉伸以及布尔运算等，来构建复杂的几何场景。

三维设计软件的建模通常从草图开始，对草图添加特征生成实体，并细化完成零件设计，然后将多个零件装配成一个部件，最后输出工程视图。三维设计软件还能对零件进行应力分析，使设计者能够在设计的阶段就知道所设计的零件的材料和形状是否能够满足应力要求，变形是否在允许范围内等，从而达到改进和优化零件的目标。

根据零件三维数字模型进行加工制造的方法很多，可以将三维数字模型转换成二维机械加工图，进行工艺的选择和加工，还可以将设计好的三维数字模型转换成STL文件，在切片软件中进行各项参数设置，并将其转化成三维打印机的运行指令文件，输入三维打印机进行产品制造。

本章学习评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
简单模型设计	知道三维设计软件界面各按钮的功能与应用			
	正确绘制二维草图			
	运用拉伸、旋转、放样和扫掠特征将二维草图转换成三维数字模型			
模型测试与优化	从功能、外形和尺寸等角度对产品进行规划设计，并将设计方案转换成三维数字模型			
	合理创建边界条件，并对三维数字模型进行应力分析			
	从安全、环保等角度对三维数字模型进行测试和优化			
	将三维数字模型转换成二维机械加工图，并正确标注尺寸			
组合模型设计及切片	对组合模型的零件组成、造型设计等方面进行结构分析，并绘制草图			
	使用三维设计软件渲染美观的三维数字模型			
	使用三维设计软件完整地装配组合模型			
	检测组合模型装配的完整性和运动方式的合理性等			
	说出切片的主要参数及其作用			
	使用切片软件合理设定切片的主要参数，并输出打印文件			
	对打印模型进行后期处理，并完成实物组装			

等级标准：A——优秀，B——良好，C——合格，D——待改进

第四章 三维打印技术应用

通过前面的学习，我们已经掌握了三维打印产品设计和打印的一般过程，体会到合理的技术分析能够提高三维打印产品的质量，现在可以应用三维打印技术来实现你自己的设计，解决生活中的实际需求了。生活中遇到的问题往往都不是单一问题，而是综合项目，需要用工程思维进行整体考虑、综合判断。工程思维是以系统分析和比较权衡为核心的一种筹划性思维。

本章将带领大家通过对一系列真实情境中可能发生的案例进行设计和制造，体验三维打印技术特有的加工功能，利用三维打印技术解决实际问题，逐步形成工程思维、创新技术能力和物化能力。

第1节 组合结构的产品制造

第2节 三维扫描与打印

第 1 节 组合结构的产品制造

学习目标

1. 初步学会设计并制作一个实用且具有简单组合结构的产品。
2. 学会对三维打印的产品进行后期处理、模型组装与功能测试。
3. 学会对三维打印的产品进行改进。

三维打印技术具有一体成型的加工特点，但在三维打印产品的设计过程中，我们却常常遇到具有简单组合结构，甚至是嵌套结构的产品。在使用三维打印技术对创意进行实体化的过程中，针对不同的产品特点与功能需求，需要不断权衡与优化设计方案。“如何将打印对象在打印平台的坐标轴中进行放置？”“如何优化打印效果？”都是我们需要考虑的问题。本节我们将通过实例来讲解两个实用且具有简单组合结构的产品的设计与打印。

哨子是体育课上常用的用品，可以传达体育教师的指令。可是，最近某班体育教师对新购置的哨子却不太满意，觉得它吹出的声音过于刺耳。

当你们准备开始一局棋类游戏时，却发现丢失了一颗重要的棋子。

学习时，缺少一款合适的阅读灯。

在节日里想要为家人、朋友送上一份独一无二的礼物。

.....

在生活中，遇到各种各样的需求或问题（图4-1）时，你们能否运用所学的三维打印技术，探索解决方案呢？

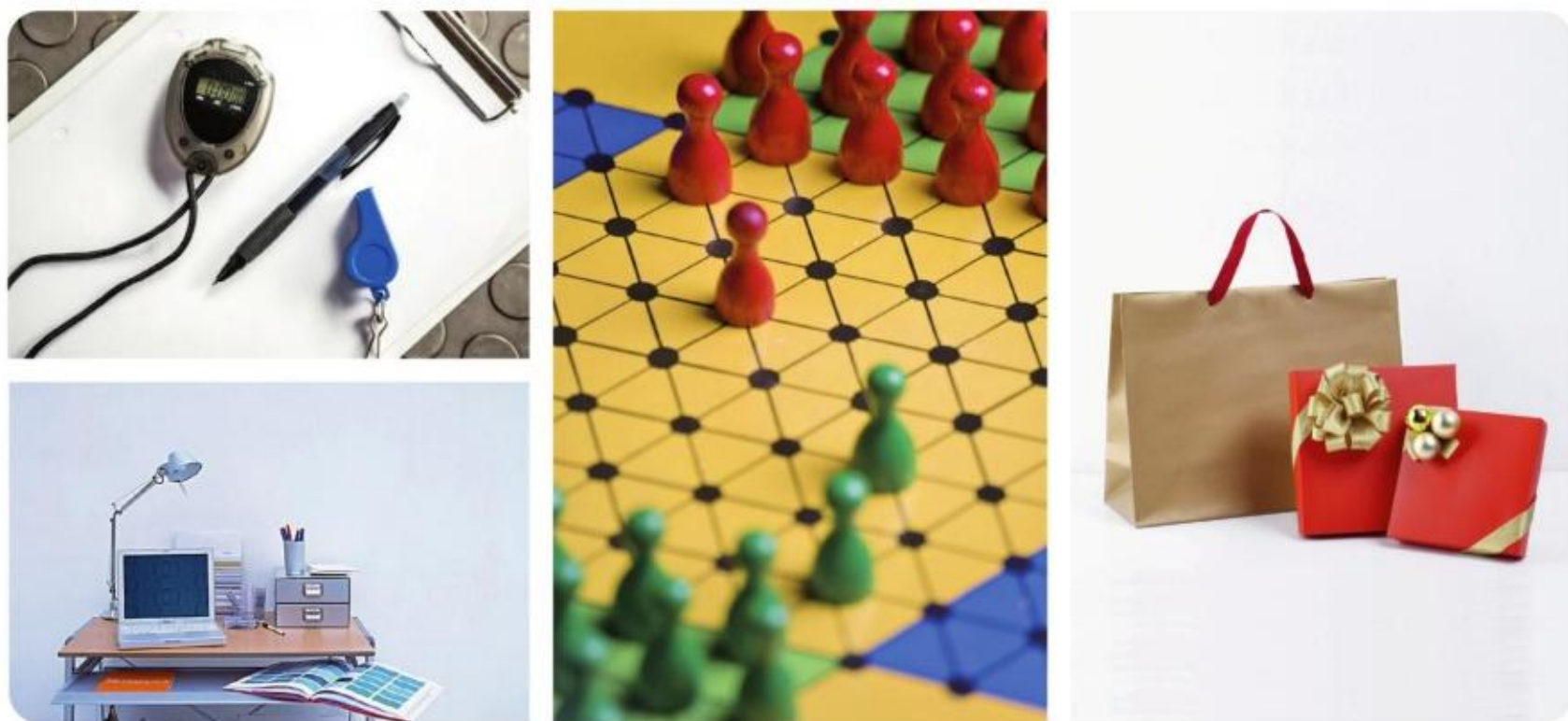


图4-1 生活中各种场景需求

一、简单组合结构产品设计与打印

简单组合结构的产品是指由两个以上独立构件组合而成的产品。下面将以带有振动弹子的哨子为例，设计并打印一款音质合适的哨子。

（一）哨子的结构分析

哨子的音质主要取决于声音的音量和音高，即哨声响度的大小和哨声音调的高低。在设计一个音质合适的哨子前，首先需要了解哨子的基本结构与发声原理。哨子种类多样、用途广泛，其设计构造也各不相同。设计三维模型时，可以挑选一个具备基本功能的哨子作为参照，我们选择最常见的带振动弹子的哨子（图4-2）作为建模参照。这款哨子的结构主要分为外壳和内部弹子两个部分。外壳部分为壳体结构，含有一个共鸣腔，并设有“进气口”（哨子嘴）和“出气口”两处开口。



图4-2 带振动弹子的哨子

拓展阅读

哨子的种类多样，发出的声响各有不同，用途也很广泛，有的用于演奏音乐，有的用于发出信号，有的则是玩具。在不同的划分标准下，哨子的种类也不同：按哨子有无核可分为有核哨、无核哨，按哨音所包含的单音数目可分为单音哨、双音哨和三音哨，按哨子的制作材料可分为金属哨、塑料哨和胶木哨，等等。还可以按哨子的样式等分类。

哨子的发声与气流的流动有着密切的关系。气流按照哨子的内部形状进行流动，从而使空气

振动，发出声音。即哨子的发声原理为气流高速地从一个比较窄的缝隙中流过，造成空气振动，从而发出声音。

哨子嘴是进气口，主要作用是让气流进入，引起哨子内空气的振动。哨子发出声响时，受到挤压的空气会通过出气口流出。

影响哨子音质的因素包括哨子的材质、哨孔的大小及位置、哨腔内径等多方面，设计时应考虑使用耐用的材料，同时考虑到哨孔设计的合理性。

讨论 & 交流

请你观察实物，收集更多相关资料，在设计之前尽可能多地了解哨子的结构和发声原理。根据你的观察和收集到的资料，针对影响哨子发声的因素提出合理的猜想和假设。

（二）哨子的三维模型设计



案例

带振动弹子的哨子的三维模型设计

以图4-2中带振动弹子的哨子为例，可以将模型分为内外两部分单独设计。外部结构为具有一定的流线型特征且对称的壳体结构，通过这些特征可以确定在三维设计软件中使用“草图绘制”“抽壳特征”“镜像特征”等关键建模方法。内部结构为一个简单的球形弹子，与外部结构组合后可得到一个完整的哨子模型。具体绘制流程和建模要点可参照以下建模步骤及图4-3。

建模步骤：

- （1）绘制二维草图。在二维平面上绘制出壳体的大致形状。
- （2）拉伸草图。将二维草图拉伸至半个壳体的高度。
- （3）进行抽壳。从模型顶面进行抽壳。
- （4）添加进气口。
- （5）添加出气口。
- （6）进行倒角和圆角处理。给出气口添加倒角和圆角特征。
- （7）进行倒角处理。给模型底面的边缘添加倒角特征。
- （8）进行镜像处理。将半个壳体模型进行镜像复制。
- （9）在壳体内部放入弹子。
- （10）将模型拼合为一个完整的哨子。
- （11）为哨子添加挂环等细节。

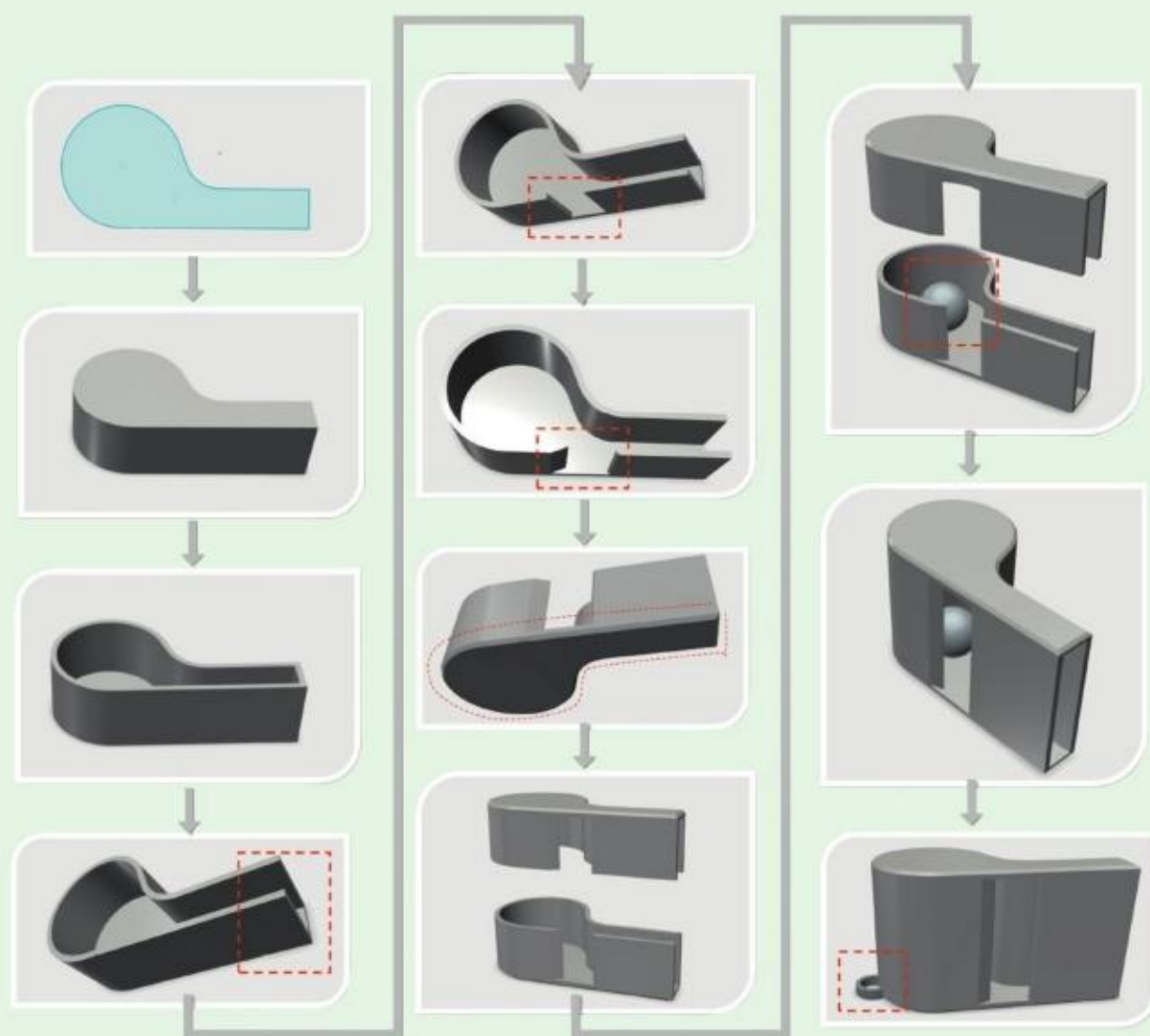


图4-3 哨子三维模型建模步骤

思考 & 练习

回顾哨子的建模过程，你认为还可以通过其他的建模方式绘制此类哨子模型吗？在你的哨子的三维模型设计中，有哪些创新点可以与同学们分享？

（三）哨子模型的打印

在打印带有振动弹子的哨子模型时，需要重点考虑“弹子部分如何嵌入外部壳体？”“怎样保证球形弹子能够独立活动？”等问题。

1. 方法一：分三部分进行打印

在设计哨子模型时，我们采用了“设计一半壳体—镜像复制—放入内部弹子—壳体拼合”的方式进行建模。其实就相当于在建模软件中完成了一次哨子的组装过程。借鉴这一思路，将哨子模型几部分组合的步骤放至打印后完成，即可达到拼装要求。模型切片预览如图4-4所示。

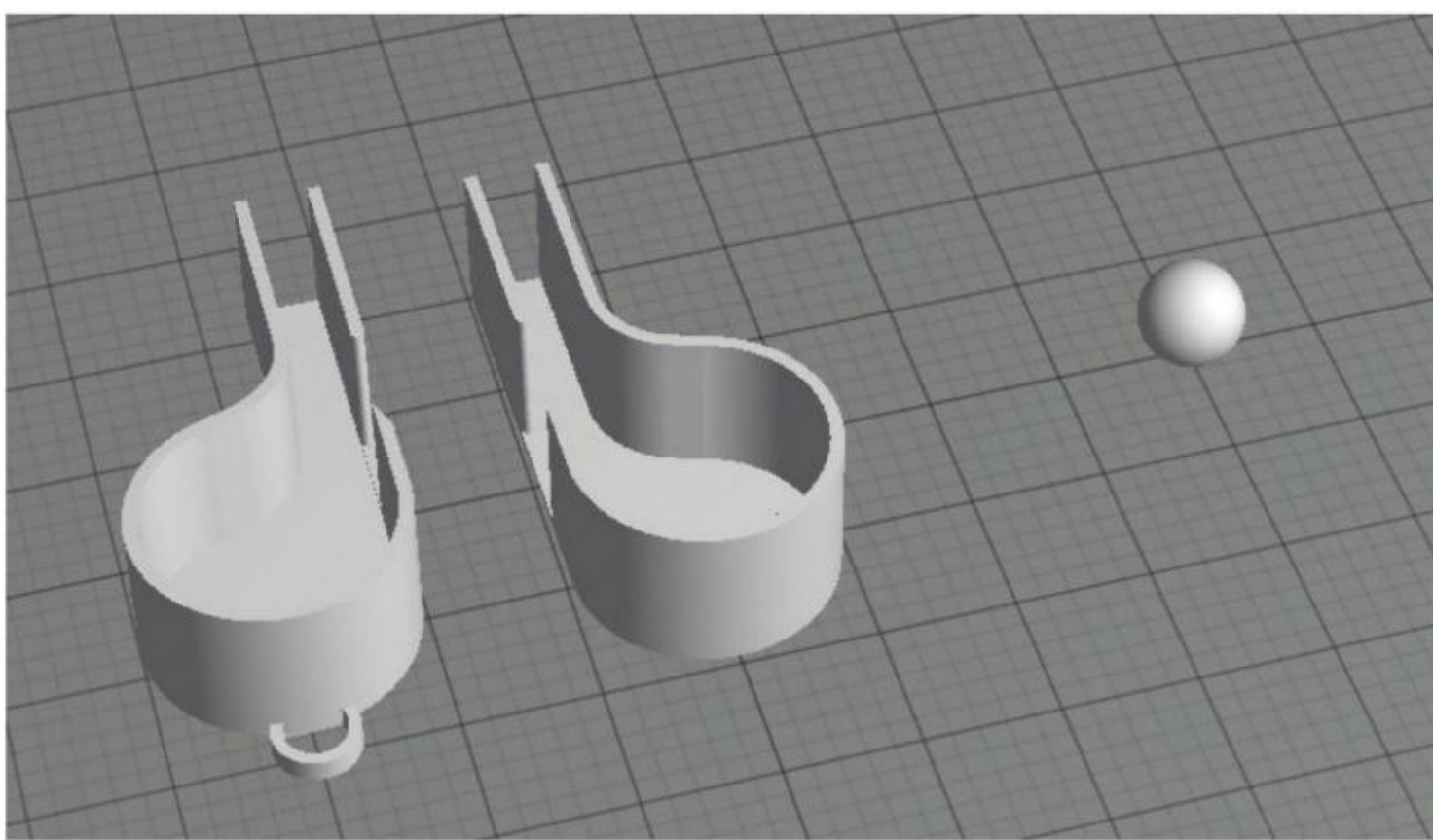


图4-4 分三部分打印切片预览

2. 方法二：选择水溶性支撑进行一体打印

选择FDM工艺对整个哨子模型进行一体打印的难点在于，哨子的内部支撑无法去除，支撑材料会将内部弹子与外部壳体连到一起。

现在市场上针对复杂模型支撑不好去除的问题，出现了专门为配合高质量打印设计的水溶性支撑材料：适用于FDM工艺的PVA材料。这类材料专为形状复杂的零部件在打印时提供支撑，打印对象成型后，将其放入常温水中，一段时间后，PVA材料将完全溶解

于水中，留下PLA或者ABS材料的打印主体。使用这种支撑材料，需要配备双喷头的三维打印机，两个喷头分别接入普通打印材料（PLA或者ABS材料）和水溶性PVA材料，两个喷头分别设定为主体打印喷头和支撑打印喷头，协作打印即可。

在条件允许的情况下，选择双喷头打印机，配合水溶性PVA材料用于支撑打印，能够快速有效地去除哨子模型的支撑材料。

3. 方法三：利用三维打印机暂停打印功能

大部分三维打印机带有暂停打印甚至断点续打的功能，利用这一功能同样能够打印出目标对象。将内部弹子和外部壳体分成两个独立模型，分开打印，面临的组装问题将简化为“如何将弹子置入外部壳体？”这一问题。



图4-5 暂停打印并放入弹子

利用基于FDM工艺的三维打印机分层制造、逐层叠加的原理，我们可以在打印外部壳体的过程中将弹子放置其中。先打印出弹子模型备用，在外部壳体的打印过程中，暂停三维打印机工作，将弹子放入哨子的壳体中（图4-5），再继续完成打印即可。

思考 & 练习

在打印出哨子模型后，每位同学检验自己的哨子是否能够发出哨声。如果存在问题，请大家一起寻找失败的原因，并尝试制订解决方案，对这些作品进行调整，并完成表4-1。

表4-1 哨子模型失败原因及解决方案

失败的原因	解决方案
模型未设计开口处	
内部弹子表面不够光滑圆润	

（四）哨子音质的改进

哨子的音质取决于声音的响度和音调，响度与音调受多种因素影响，如哨子的形状、哨子的内腔尺寸、哨子进气口与出气口的大小等。

拓展阅读

声音的强弱称为响度。分贝（decibel）是人们用来表示声音强弱等级的单位，符号为dB。按照正常人的听觉，我们可以把分贝大致换算为一些更容易被我们理解和感知的声音现象，便于我们快速地认知、自测声音强弱等级，如表4-2。市面上也出现了很多应用程序或者软件，

能够更准确地测量环境音的强弱等级，图4-6即是一款能够测量声音强弱等级的手机应用程序。

通过测量得到哨声的分贝数，能直观地判断哨子的音量是否合适。例如：70 dB以下哨声过小；70~100 dB哨声适中；100 dB以上哨声过大，会损伤听力。

表4-2 分贝自测表

声音强弱的等级/dB	声音示例
1	刚能听到的声音
30	耳语的声音
40	冰箱的“嗡嗡”声
60	正常交谈的声音
70	闹市区的环境音
85	汽车穿梭的马路上的声音
95	摩托车启动的声音
100	电钻的声音
110	大声播放音乐的声音
120	飞机起飞时的声音
150	燃放烟花爆竹的声音



图4-6 分贝测量应用程序

设计 & 操作

改变哨子模型的某一参数，打印模型后进行试验，探究这一要素对哨子发声的影响，发现并归纳哨子发声的规律。

运用控制变量法，对影响哨子发声的因素进行试验。在三维设计软件中建立不同规格的哨子模型，将模型打印出来后，通过试吹、试听，感受不同规格模型的音调，记录、比较试听情况，并测算出哨子的平均音量，记录数据。例如，可探究出气口宽度对哨子响度及音调的影响，并做如表4-3的记录。

表4-3 试验数据记录

出气口宽度/mm	声音强弱的等级/dB	音调情况
2		
4		
6		
8		
10		



讨论 & 交流

哨子的发声效果受到各种因素的影响。请与同学们讨论交流，是否能够运用哨子的发声规律来改进我们的哨子。



思考 & 练习

运用哨子的发声规律改进哨子模型的过程中，你和同学们又有哪些好的创意？是否能够制作出外形独特、音质良好的哨子呢？



思考 & 展评

请根据哨子模型的设计情况和打印效果，填写表4-4。

表4-4 哨子模型评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
哨子模型的设计	三维建模思路清晰，操作流畅			
	所建的模型造型美观，具有一定创新性			
哨子模型的打印制作	能够选择合理高效的模型打印方式			
	打印的哨子成品响度、音调适中			

等级标准：A —— 优秀，B —— 良好，C —— 合格，D —— 待改进

二、组合结构产品设计打印与改进创新

创意的实现不但需要独特创新的构思，还需要整体考虑、合理规划、具体实施以及后期的调试和优化。例如，设计阅读灯时，需要根据使用者的阅读习惯，针对不同场景，设计个性化、照明范围合适的阅读灯。

针对不同的场景和个性化需求，市面上出现了各种各样的阅读灯。

例如，为满足在弱光环境下阅读的用户需求，设计师设计了一款便携式阅读灯。这款阅读灯既可以在阅读纸书时使用，又可以搭配电子书阅读器使用，如图4-7所示。



图4-7 便携式阅读灯

再如，针对每天使用电脑的人保护眼睛的需求，设计师设计了如图4-8所示的可夹在屏幕上的阅读灯。



图4-8 可夹在屏幕上的阅读灯

（一）台灯的结构分析

台灯是生活、学习中必不可少的物品，在设计之前，先仔细观察身边常见的台灯（图4-9），了解其基本结构和部件。



图4-9 常见的台灯

通过观察可知，台灯通常由多个部件构成，所以我们一般不会将其设计为单一模型，而是把它分多个零部件进行设计和打印。台灯的结构部件主要可以分为灯头、连接杆和底座三部分，灯泡以外的其他电子元件主要放在底座中。据此，可将台灯分为灯头模型、连接杆模型和底座模型三部分进行设计。

台灯应有一个较大的底座以保证结构稳固，底座中空，为后续电子元件的安装提供空间。要实现照明功能，灯头部分应考虑灯泡的安装空间，灯罩应较薄。连接杆部分应考虑设计为可活动的连接方式，方便打印后与其他两部分相连。

依照分析，可以在纸上为预备建模的台灯画出设计草图，如图4-10所示，预先考虑好每个零部件的形状、尺寸比例及连接方式。

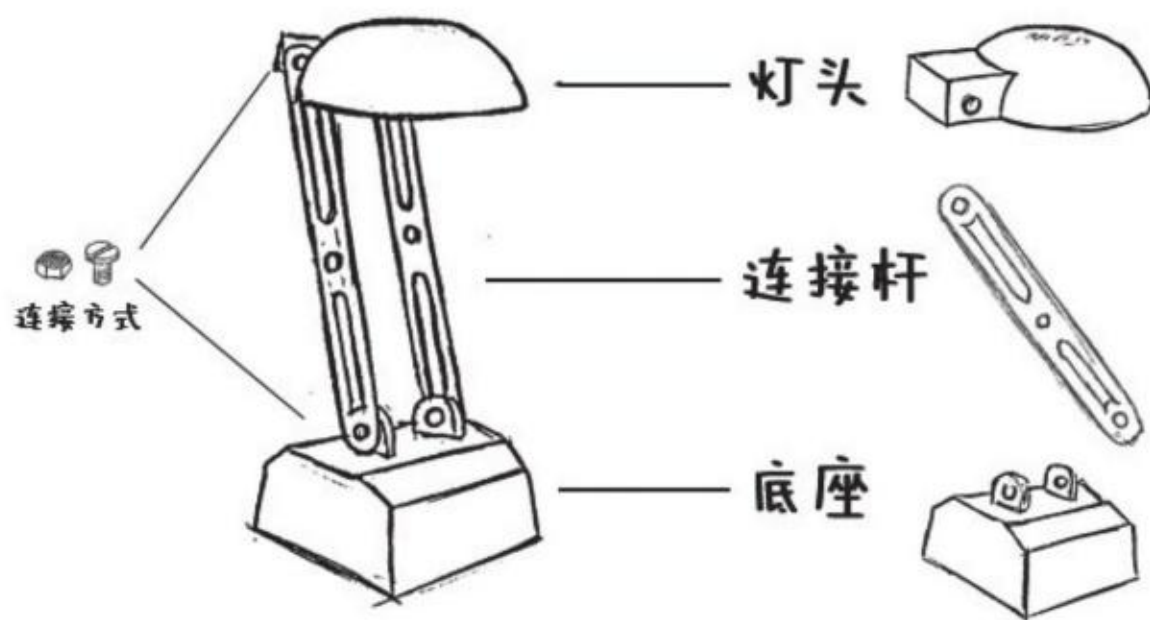


图4-10 台灯结构草图示例

(二) 台灯的三维模型设计

根据已有的设计草图，需要在三维设计软件中建立三维模型。在建模时，针对每个部件结构的特点，需要先思考建模方法，确定主要建模步骤，然后再在三维设计软件中进行具体绘制。

在绘制三维模型时，一般遵循先粗后精、先整体后局部的原则。例如，灯头部件，我们可以参考图4-11进行建模，将其大致看作长

方体和半球体的组合，组合后抽壳就可以得到一个大致的灯罩形状。具体步骤如下。

(1) 绘制二维草图。在平面上绘制圆形（直径45 mm）和长方形（18 mm×20 mm）草图。

(2) 拉伸草图。将绘制好的草图分别拉伸形成圆柱体（拉伸15 mm）和长方体（拉伸10 mm）。

(3) 进行圆角处理。选择圆柱体的一个底面，进行圆角处理，将圆柱体处理为近似半球体的结构。

(4) 进行布尔运算。调整半球体结构与长方体的位置，将它们组合形成灯头的整体形状。

(5) 进行抽壳。选择移除面，进行抽壳，选择1 mm壁厚，形成一个开放的空腔作为灯头。

(6) 添加连接孔。在灯头后部两侧对称的位置预留出安放插销或螺钉的插孔（直径2 mm）。

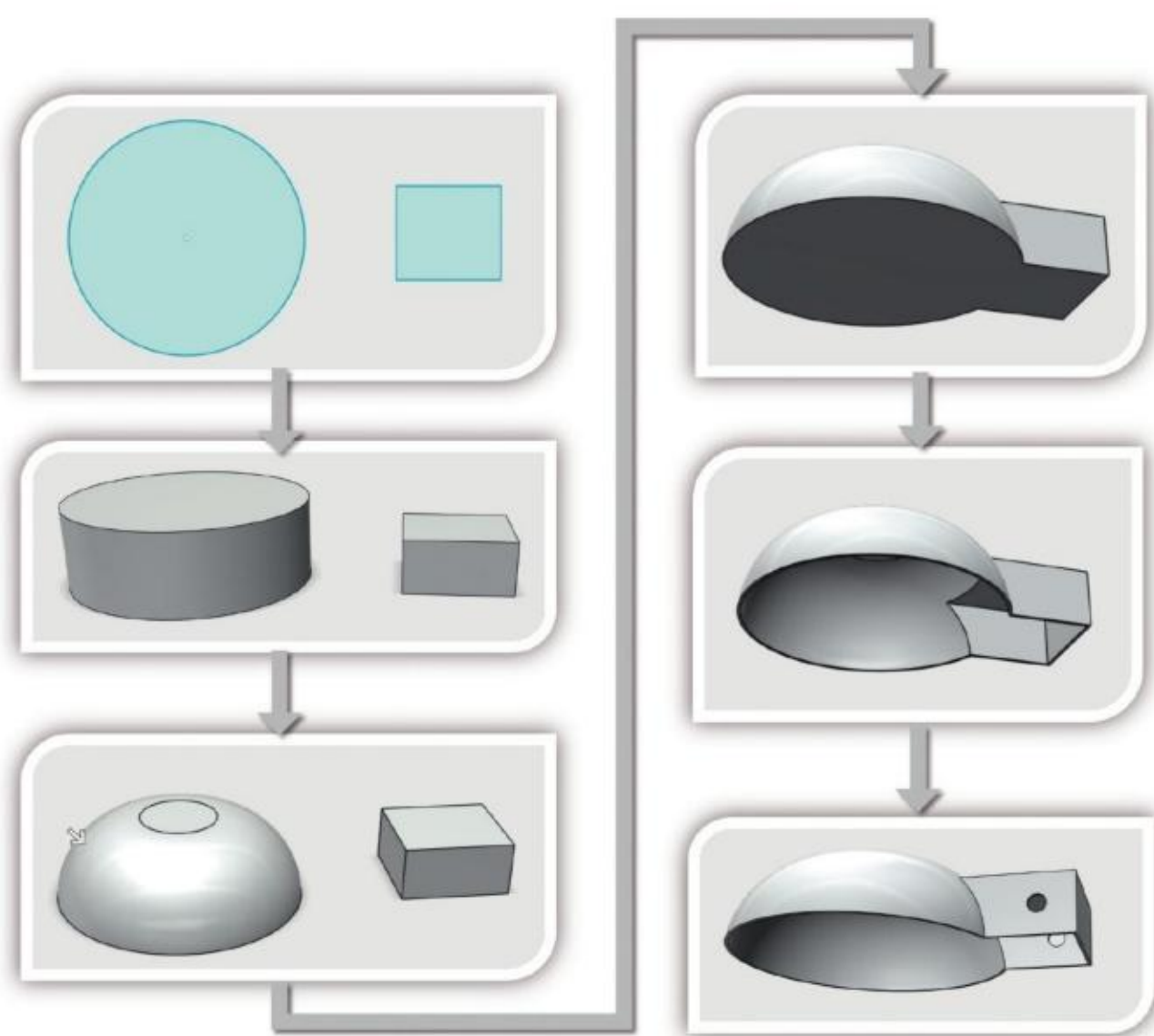


图4-11 灯头的建模流程

对连接杆部件建模时，可以先绘制部件的剖面草图，然后通过拉伸塑造出它的形状。底座部件主要运用的建模方法有草图绘制、拉伸、倒角、抽壳和布尔运算。



设计 & 操作

参照表4-5中的建模思路对台灯各部件进行三维模型设计。在建模时要注意三个部件的尺寸，应使其大小比例保持一致。

表4-5 台灯部件的建模方法

台灯部件名称	台灯部件模型	主要建模步骤
灯头		草图绘制
		拉伸
		布尔运算
		圆角
		抽壳
		打孔
连接杆		草图绘制
		拉伸
底座		草图绘制
		拉伸
		倒角
		抽壳
		布尔运算



讨论 & 交流

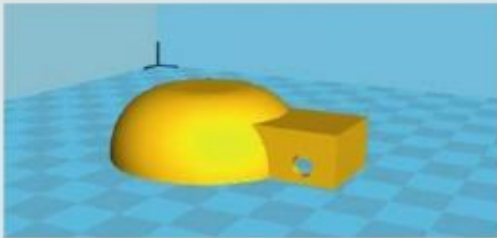
回顾各部件的建模方法和步骤，在实践过程中，你和同学们有哪些改进和完善的建议呢？是否有其他的建模方法能够达到同样的效果？

（三）台灯的打印及组装

建模完成后，就可以进行切片和打印了。每个部件在台灯中承担的功能不同，打印时的重点也会有所不同。灯头部分主要起到灯罩的作用，应在打印质量允许范围内尽量打印得薄、轻，对应参数

应减小壁厚值和填充率；支撑杆要撑起灯头部分，需要较高的强度，可以增大其填充率；底座部分作为基底，需要依靠重量来确保整个台灯的稳定性，可以通过增大填充率实现这一目标。具体参数可参照表4-6。

表4-6 建议打印方向及重要参数设置

台灯部件名称	建议打印方向	切片参数设置
灯头		层厚 0.2 mm 壁厚 0.6 mm 填充率 10%
连接杆		层厚 0.2 mm 壁厚 1.0 mm 填充率 50%
底座		层厚 0.2 mm 壁厚 1.0 mm 填充率 50%

设计 & 操作

结合以上打印建议，在灯头部分的打印过程中，与同学设计试验，记录数据，探究灯头部分的最佳打印参数。

各部件打印完成后，对模型进行简单处理，将部件用紧固件组装起来，如图4-12所示，得到一个基本的台灯模型。为台灯模型接入电子元件，完成台灯模型的搭建。



图4-12 台灯模型组装后效果

思考 & 练习

在设计和打印过程中，或者组装好部件模型后，你是否发现了一些需要解决的问题？能够从哪些方面进行改进与完善？

（四）台灯模型的改进与完善

我们可以从功能、结构和外形等不同角度进行思考，用自己独特的想法有创意地对现有的台灯模型进行设计改进，并自主进行打印和制作，完善作品。

案例

台灯改进方案

方案一

改造目标：灵活调整照明范围。

参考方案：参照陀螺仪的设计，将灯头设计成旋转灯头。将灯头架和灯罩分开打印，预留轴孔的位置，利用轴承配件，实现灯头转动，可参考图4-13。

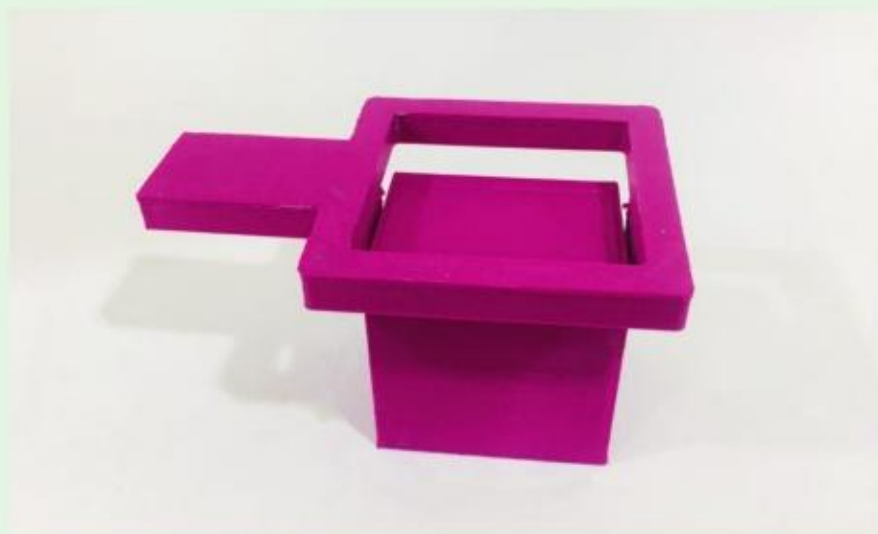


图4-13 旋转灯头设计参考

方案二

改造目标：灵活调整照明高度。

参考方案：提升连接杆的收缩灵活性。参照部分台灯连接杆多段可折叠、可调整的特征，将单节长连接杆换为多节短连接杆，增大台灯连接杆的活动空间，如图4-14所示。

方案三

改造目标：将台灯改造为光控台灯。

参考方案：改建电路，增加所需功能。查找光控灯电路的相关资料，制作含光控电路的电路板，将电路板嵌入台灯底座部分。



图4-14 多节短连接杆台灯设计参考

讨论 & 交流

与同学们组织一场“产品发布会”，设计师们以产品发布的形式，介绍讲解自己的作品，其他同学作为观众可针对产品进行提问。

提示：文字介绍、作品展示、多媒体的视频介绍等，都可以作为产品发布会的展示方式。

思考 & 展评

请根据表4-7，对台灯模型的设计、打印和改进完善情况进行评价。

表4-7 台灯模型评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
台灯模型的设计	台灯各部件设计合理			
	三维建模思路清晰，操作流畅			
	台灯模型整体造型美观，具有一定创新性			
台灯模型的打印制作	正确打印出各部件			
	部件间尺寸相吻合，能正确完成台灯各部件的装配			
台灯模型的改进完善	改进方案具有创新性			
	作品达到预设改进目标，且效果良好			

等级标准：A —— 优秀，B —— 良好，C —— 合格，D —— 待改进

第 2 节 三维扫描与打印

学习目标

1. 知道三维扫描仪的基本工作原理和操作步骤。
2. 学会利用三维扫描仪获取三维模型数据。
3. 理解三维产品设计与制造中逆向工程的作用。

三维扫描属于逆向工程的一种，指通过扫描实物的外形来获取其数字化模型数据。

近年，部分博物馆借助三维扫描、虚拟现实（Virtual Reality，VR）等先进技术，推出“VR体验馆”（图4-15），让游客仿佛突破了时空限制，在历史场景中行走、体验。某博物馆要建立一个“VR茶具展览馆”，在线上展出各种不同造型的茶具（图4-16），并针对几款茶具推出文化创意产品。你们知道什么技术可以帮助博物馆快速获取茶具虚拟模型，并快速制造文化创意产品吗？



图4-15 VR体验馆



图4-16 各种不同造型的茶具

一、三维扫描技术

三维扫描是集光、机、电和计算机技术于一体的高新技术，属于逆向工程的一种。通常使用快速立体测量设备三维扫描仪对实物进行扫描，从而获得物体的形状、外观（如颜色、表面反照率）等信息的三维数字模型数据。

如图4-17所示，三维扫描仪获取到的数据被用来进行三维重建计算，并创建实际物体的数字模型。重建后的三维模型又可以用三维设计软件进行操作，操作后的模型还可以通过三维打印技术进行打印。

三维扫描仪的重要意义就在于能够将实物的具体信息转换为计算机能直接处理的数字信号，为实物数字化提供了相当方便快捷的手段。

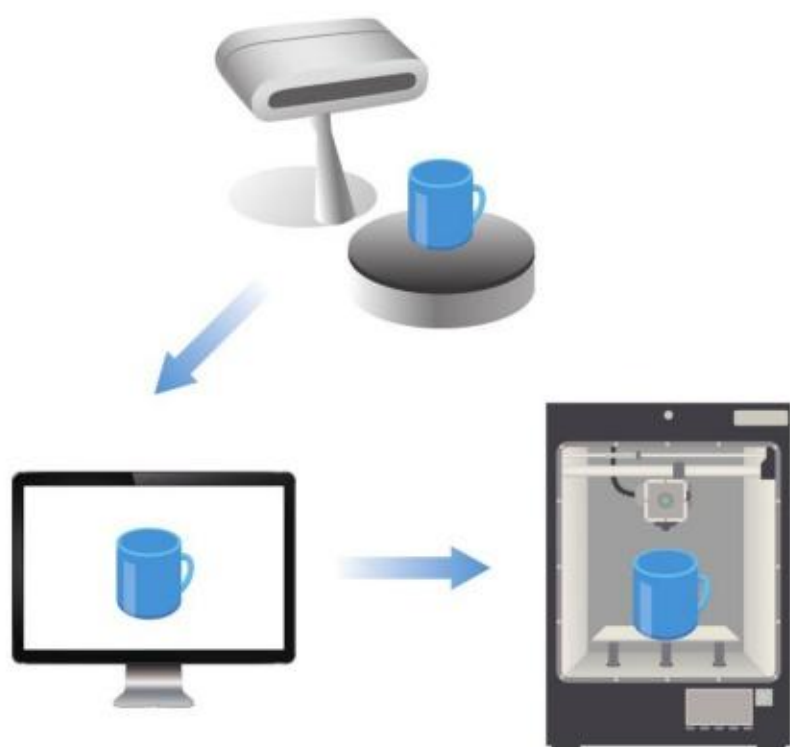


图4-17 三维扫描过程示意图

二、三维扫描模型过程

通过三维扫描仪，能够快速获取各类茶具的三维模型。扫描获取三维模型通常分为以下三个阶段。

（一）准备阶段

步骤1：确保三维扫描环境稳定。

在进行三维扫描前，要确保三维扫描仪在一个稳定的环境中：三维扫描仪平稳放置；光环境稳定，避免强光和逆光对射。

步骤2：三维扫描仪相机标定。

为确保扫描数据的准确性，需要对三维扫描仪进行校准，这一过程在三维扫描中通常称为“标定”。标定过程中，会根据三维扫描

仪预先设置的扫描模式，计算出扫描设备相对于扫描对象的位置。

步骤3：对扫描物体的表面进行预处理。

有些物体由于材料、颜色等问题不易扫描，如透明、半透明、反光及纯黑色物体。对于这些物体，可以先在物体表面喷洒哑光白色显像剂，之后再扫描。

（二）扫描阶段

准备工作完成后便可以对物体进行扫描了。用三维扫描仪对扫描物体从不同的角度进行三维数据捕捉，改变物体摆放方式或调整三维扫描仪相机方向，对物体进行全方位的扫描。这里以一个陶杯为例，展示扫描过程，如图4-18所示，具体步骤如下。

（1）确定扫描模式。根据陶杯的大小，确定使用含转台的固定扫描模式，并连接转台。

（2）新建工程。在指定位置新建一个用于存放扫描数据的工程文件。

（3）选择纹理。结合扫描物体的特点，确定选择纹理扫描。

（4）进行第一次扫描。将陶杯倒置于转台上，扫描获取外表面及底部数据。

（5）进行第二次扫描。调整陶杯方向，扫描获取内表面数据。

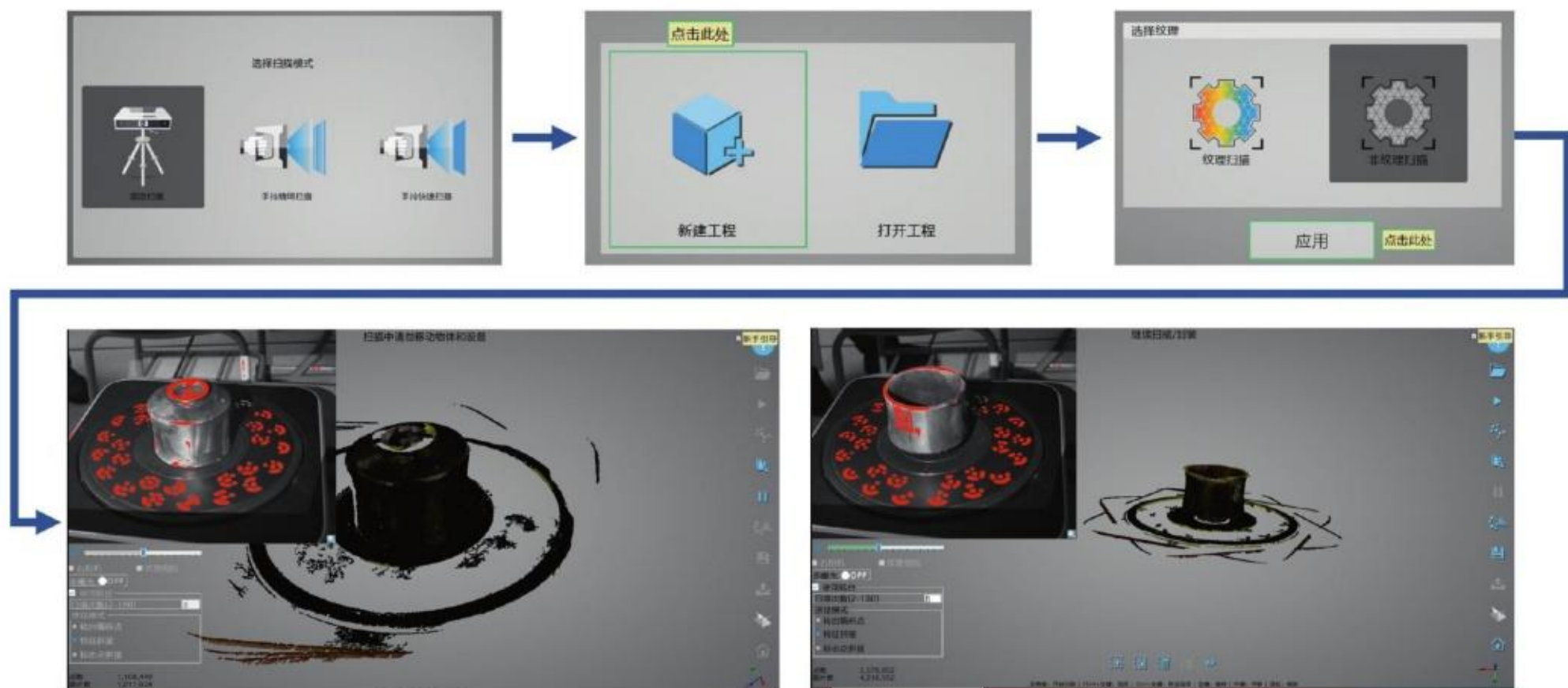


图4-18 三维扫描陶杯过程

（三）后期处理阶段

首先，进行点云处理。

在逆向工程中，通过测量仪器获得物体表面每个采样点的空间

坐标后，得到的是一个点的集合，这个点数据集合称为“点云”。

目前市面上主流的三维扫描仪的点云处理方式均为点云自动拼接（图4-19），无须后期手动拼接，即对物体表面扫描完成后，系统会自动生成物体的三维点云图形，操作人员仅需要对扫描得到的点云数据去除噪点（即多余的点云）以及对其进行平滑处理。



图4-19 陶杯点云拼接处理

然后，进行数据转换。

点云处理完后，要对数据进行转换，并添加纹理（图4-20）。目前，系统软件可自动将点云数据直接转换成STL文件，生成的STL文件可以与市面上通用的三维设计软件对接。

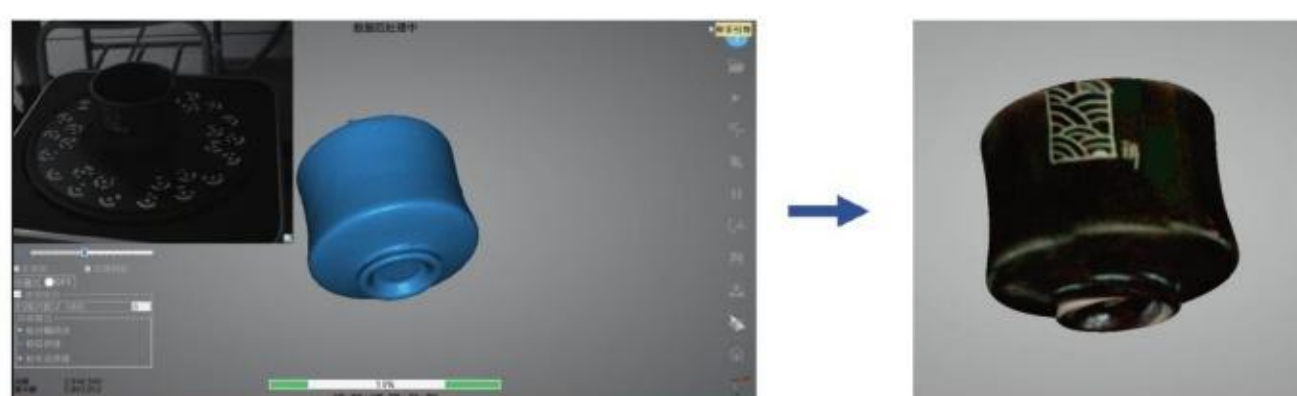


图4-20 转换为STL文件及纹理的添加



设计 & 操作

选择喜欢的茶具进行三维扫描，获取模型的STL文件。在三维设计软件中对获取的模型文件进行简单的修改或修饰，设计一款文化创意产品。



讨论 & 交流

请收集更多相关资料，了解三维扫描仪的现有应用领域，并对未来三维扫描仪可能应用的领域提出合理的设想。



本章小结

生活中遇到的问题往往都不是单一问题，而是综合项目，需要用工程思维，整体考虑，综合判断。工程思维是以系统分析和比较权衡为核心的一种筹划性思维。当我们应用三维打印技术来实现创意、解决问题时，也不仅仅限于单一模型的设计，我们可以从功能、结构和外形等不同角度进行思考。

在产品的设计与制造中，数字模型的建立应当服务于最终的打印方式和产品效果。在制造过程中，尤其针对具有相对复杂结构的产品设计，需要综合考虑产品功能、设计的独特性、三维打印技术的特点等一系列因素，进行打印方式的确立。

三维模型设计是从无到有地设计三维数字化产品，与建模技术关系密切。然而，并非每一件产品都需要从零开始进行设计建模。逆向工程中的三维扫描技术同样能够服务于产品的设计制作。三维扫描技术能通过扫描实物的外形来获取其三维数字模型，这一技术可广泛应用于文物和文化遗产保护、汽车制造、工业检验、医疗等行业，以提高生产效率。

本章学习评价表

评价项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
组合结构产品的认识	知道什么是组合结构产品			
	举例说明如何优化打印效果			
哨子的设计与制作	说出哨子发声原理，分析哨子结构			
	流畅地完成哨子模型设计			
	合理选择哨子打印方式			
	改善哨子发声效果			
台灯的设计、制作与改进	正确分析台灯的结构			
	流畅地完成台灯模型设计			
	正确完成台灯的打印及装配			
	提出改进方案，达成改进效果			
三维扫描技术应用	叙述三维扫描技术的基本工作原理			
	说出三维扫描的一般过程			
	正确使用三维扫描设备			
	举例说明三维扫描技术的应用领域及案例			

等级标准：A —— 优秀，B —— 良好，C —— 合格，D —— 待改进

后 记

本册教科书根据教育部颁布的《普通高中通用技术课程标准（2017年版）》编写，2020年经国家教材委员会专家委员会审核通过。

编写过程中，上海市通用技术教学研究基地（上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地）及基地所在单位华东师范大学等单位给予了大力支持。石生俊参与了本书提纲和内容的讨论。

在此感谢所有为本册教科书编写提出修改意见，提供过帮助与支持的单位以及专家、学者、教师和社会各界朋友！

本册教科书投入使用后，我们根据各方意见作了修订，真诚希望广大师生和家长继续提出宝贵意见！

联系方式

电 话：010－58758570

电子邮箱：jcfk@pep.com.cn

编者



PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
TONGYONG JISHU



绿色印刷产品

ISBN 978-7-107-36794-6



9 787107 367946 >