

 CAD三维建模全实例教程
CAD绘图师和CAD大赛参考用书

3D 打印

奇趣造型与视图

孙凤翔 主编



化学工业出版社

3D 打印

奇趣造型与视图

孙凤翔 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为适应“创客、创意”的成果落地,从创新 3D 打印的基础——三维建模为切入点,本着“知识够用、应用为主”的宗旨,精选三维构思奇巧实例,解说工程图学的基本原理,力求让读者花费较少精力,掌握运用电子计算机进行三维建模的造型技能。各实例都附有立体图和造型提示,便于领悟自学。

本书适用于理工科大中专院校师生、工程技术人员提高“三维建模”技能,可作为全国及各省市的 CAD 绘图师考证以及 CAD 大赛参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

3D 打印奇趣造型与视图/孙凤翔主编. —北京:
化学工业出版社, 2016.5
ISBN 978-7-122-26492-3

I. ①3… II. ①孙… III. ①立体印刷-印刷术
IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 046930 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 王 静

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17¼ 字数 430 千字 2016 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD



专司空间思维的右半脑，往往因少用而搁置，本书为开发右半脑的空间立体思维，为实现“文化与科技辉映，创新与创意齐飞”，为培养能把创意变成现实的“创客”人而撰写。“设计”既是一门艺术也是一门科学，但无论如何，它都始于空间想象。三维建模是将创意灵感变成可视化的虚拟现实，而 3D 打印可将想象快速转变成看得见、摸得着的真实物体。来自社会各行各业的人们正在以创客（把创意变成现实）的模式应用此项技术，来展现创新的寓意并丰富人们的生活。

本书本着“知识够用，应用为主”的宗旨，精选“三维构思奇巧实例”，解说“工程图学”基本原理，理顺三维建模思路。各实例都附有立体图，便于领悟自学，让读者轻松插上空间想象的翅膀。让“寓教于乐”走进知识的殿堂，让“十年寒窗”不再成为莘莘学子的“专利”——这是传道授业者的梦想。“三维构思会激发创新灵感”——这是笔者多年教学实践的领悟。

随着 3D 打印技术的发展，最重要的是掌握运用电子计算机进行三维建模造型的技能。3D 打印是一种以数字模型文件为基础，采取犹如医学上的“CT 切片扫描程序”，再运用粉末状金属或塑料等可黏合材料，通过逐层打印的方式来造型实物。实际上是利用光固化和纸层叠等技术的最新快速成形装置。

三维打印的设计过程是：先通过计算机建模软件建模，再将建成的三维模型“分区”成逐层的截面——“切片”，从而指导打印机逐层打印。若要仿造，可运用立体扫描技术，而要创新，欲获得前所未有的物件，只能凭灵感设计——三维建模。所以，作为创新 3D 打印的基础——三维建模，已经成为业内人士追捧的热点。

本书着重介绍“三维建模”的基本方法，以图文并茂的叙述方式，力求让读者尽快融入三维建模领域中，让理论插上实践的翅膀，不断进取创新。至于 3D 打印技能，由于机型、材质不同，实操性过强，在此仅作基本介绍，望读者勇于实操。

学习掌握“三维建模”知识技能，虽然书籍和法门众多，但能让读者花费较少精力而学得较多知识的捷径不多。笔者通过长期的教学和工业设计实践，持之以恒探究空间逻辑思维的认知规律，提炼、“萃取”，凝成了学科、设计、实践的智慧结晶，坚定了“避抽象、重实训”的路径，特别编撰了一些涵盖必要知识技能的新颖实例，并进行循序渐进的巧解。通过图、物并茂演示，让读者先入为主——启蒙视觉判明，再引领右脑融会——进入空间构思的畅想境界。

技术知识可以传授，而创新思维只能启发。本书编排按照：预备知识—相关实例—答案—三维建模—巧解提示—造型设计的循序。遵从“少而精，学到手”的宗旨，所选实例由浅入深，适应不同层次的需求，按照个性化处理例题的广度、深度，力求让初学者体会到轻松入门的乐趣，也会让深究者获得“别开洞天”的快感。笔者坚信，做题仅仅是理解理论的手段，但只学理论，却难以领会理论的真谛。古人云：“采菊东篱下，悠然见南山”。对于实践性极强的“三维建模”，读罢此书，会有顿悟灵感。

本书适理理工科大中专院校师生、技师提高“三维建模”技能，熏陶提升“图解、图示”

水平。为全国及各省市的 CAD 绘图师考证以及 CAD 大赛, 为进一步展现工业设计才华, 夯实坚实基础。

本书由孙凤翔主编, 由王冠中、刘航、孙冬任副主编, 于波、祝洪海、牟峰、杨华、孙战、朱瑞景、谢桂真、于莉、蓝海霞、高天奇、台静静、李帆、梁卓冰、孙昀、陈维鹏、陈洋洋、方峰参加了编写工作, 王桂花、胡波参加了绘图、校对工作。

限于编者学识水平, 不足之处在所难免, 敬请指正, 不胜感激。

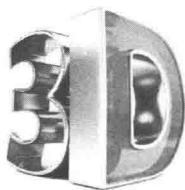
编 者



Chapter 1	第一章	001
	3D 打印简介	
	一、什么是 3D 打印	001
	二、3D 打印特色	002
	三、3D 打印愿景	004
	四、4D 打印崭露头角——可创造出“智能化”的物体	007
	五、三维建模与视图的关系	008
Chapter 2	第二章	009
	基本几何体奇巧造型	
	一、奇趣棱柱造型	012
	二、奇趣魔方造型	045
	三、奇趣棱锥造型	146
	四、奇趣圆柱造型	202
	五、奇趣圆锥造型	227
	六、奇趣球造型	232
	七、奇趣圆环造型	237
	八、奇趣回转体造型	239
Chapter 3	第三章	244
	奇趣组合体造型	
	一、三种组成形式	244
	二、四种组合方式及画法要领	244
	三、奇趣造型设计	259
	四、设计造型训练	265
	参考文献	270

第一章

3D打印简介



一、什么是 3D 打印

“3D”即三维，“打印”即是用“油墨”打印到平面上。3D 打印机又称三维打印机，是一种“累积制造”技术，即快速成形技术的一种机器，如图 1-1 所示为某小型 3D 打印机的工作示意图。

3D 打印 (3D printing)，属于快速成形技术的一种，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可黏合材料，通过逐层堆叠累积的方式来构造物体的技术（即“积层造型法”）。平常使用的普通打印机属于 2D 打印，它是与计算机联机的办公设备，只能把计算机的二维文件打印到平面的纸张上。3D 打印机通过读取三维文件中的横截面信息，用液体状、粉状或片状等材料逐层打印，再将各层截面以各种方式粘合起来，采用分层加工、叠加成型的方式，逐层增加材料来生成 3D 实体。这种打印机打出的截面的厚度（即 Z 方向）以及平面方向（即 X-Y 方向）的分辨率是以 dpi（像素每英寸）或者微米来计算的。一般的厚度为 $100\mu\text{m}$ ，即 0.1mm ，也有部分打印机如 Objet Connex 系列，还有三维 Systems ProJet 系列可以打印出 $16\mu\text{m}$ 薄的一层。而平面方向则可以打印出跟激光打印机相近的分辨率。打印出来的“墨水滴”的直径通常为 $50\sim 100\mu\text{m}$ 。用传统方法制造出一个模型通常需要数小时到数天（根据模型的尺寸以及复杂程度确定），而用三维打印技术，可将时间缩短为数小时。

按照数学概念，具有长、宽、高的立体空间，可用笛卡尔直角坐标系 X-Y-Z 定位，纸张属于只有长和宽的二维平面（只具有 X-Y 二维坐标），打印所使用的材料是油墨；而 3D 打印是把计算机的三维数字模型，预先进行层层“电子切片”（犹如医用仪器

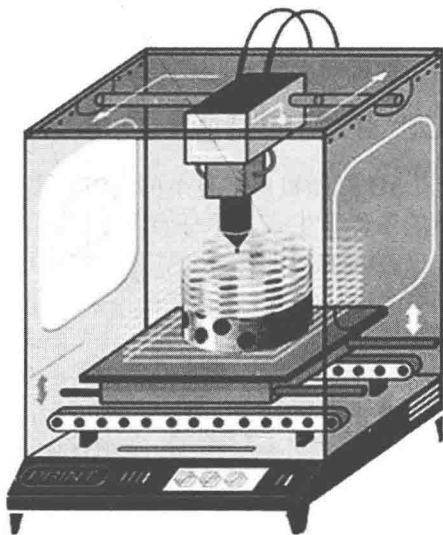


图 1-1 小型 3D 打印机工作示意图

“CT”的“切片扫描”),再逐层打印到虚拟的平面上,使空间实物一层层“成长起来”。也可以说,3D 打印是断层扫描的逆过程,断层扫描是把某个东西“切成”好多好多叠加的片,3D 打印就是一片一片的打印,然后叠加到一起,形成一个立体。

3D 打印技术出现在 20 世纪 90 年代中期,实际上是利用光固化和纸层叠等技术的最新快速成形装置。它与普通打印工作原理基本相同,3D 打印无非是用所需的工程材料(塑料、粉末冶金、热熔金属等)充当“油墨”,按照三维建模的逐层“切片”获得的截面数据,让 3D 打印机逐层把“切片”堆叠起来,直到一个固态物体成形。如图 1-2 所示为 3D 打印的几个“切层”堆叠时态。3D 打印机和 2D 打印机的区别在于多了一个维度。

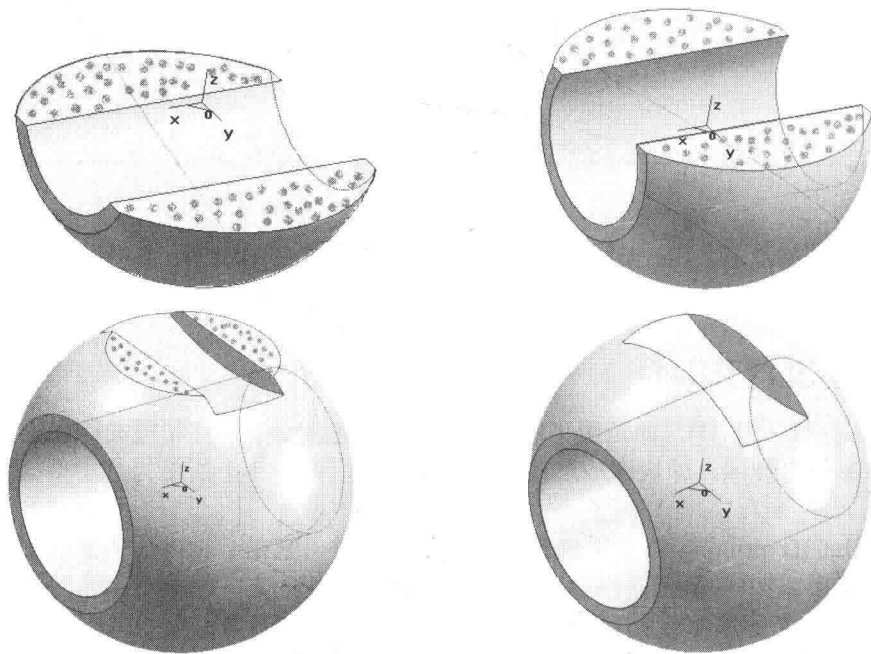


图 1-2 3D 打印的几个“切层”堆叠时态

其实 3D 打印机和普通打印机有很多相似之处,只是一个吐的是墨,一个吐的是石膏、树脂、塑料、合金等;一个是单层,一个是多层。市面上的 3D 打印机首先将塑料等热熔,然后通过喷嘴喷出,逐层造出设计模型。

二、3D 打印特色

3D 打印机可把复杂的三维制造转化为一系列二维造型的叠加,因而可以在不用模具和工具的条件下生成几乎任意复杂的零部件,极大地提高了生产效率和制造柔性。

3D 打印工作,首先得通过计算机辅助设计(CAD)或计算机建模,然后将建成的三维模型“电子切片”,获得逐层的截面数据,再把这些信息传送到 3D 打印机上,3D 打印机会把这些切片堆叠起来,直到一个固态物体成形。这犹如“万丈高楼平地起”,空间立体物件在 3D 打印机中,是一层层叠加——“生长出来”的。

至于怎么堆叠这些“切片”,方式有很多种,小型 3D 打印机最为常用的就是用液态材料沉积成形,这个有点类似喷墨打印机,只不过喷头喷出的不是墨水而是热塑性塑料或共晶系统金属等可迅速固化的材料。

3D 打印机与传统打印机最大的区别在于它使用的“墨水”是实实在在的原材料,堆叠薄层的形式多种多样,可用于打印的介质种类多样,从繁多的塑料到金属、陶瓷以及橡胶类

物质等。

3D 打印机通过将材料层层电解沉积的方法来生产产品,而不是像以前那样对材料锻打、弯曲、压切。这项工艺被恰如其分地称作“添加型制造”,以区别于此前先铸造毛坯,再切去多余部分的批量制造。

3D 打印机堆叠薄层的形式,目前有如下几种:

(1)“喷墨”方式 即使用打印机喷头将一层极薄的液态塑料物质喷涂在铸模托盘上,此涂层之后被置于紫外线下进行处理。然后铸模托盘下降极小的距离,以供下一层堆叠上来。

(2)“熔积成形”方式 即在打印机喷头内熔化塑料,然后通过沉积塑料纤维的方式来形成薄层。

(3)“激光烧结”方式 使用一种叫做“光固化”的技术,以粉末微粒作为打印介质。粉末微粒被喷撒在铸模托盘上形成一层极薄的粉末层,熔铸成指定形状,然后由喷出的液态黏合剂进行固化。

(4)“电子流熔化”方式 即利用真空电子流熔化粉末微粒,当遇到包含孔洞及悬臂这样的复杂结构时,介质中就需要加入凝胶剂或其他物质以提供支撑或用来占据空间。这部分粉末不会被熔铸,最后可用水或气流冲洗掉支撑物便可形成孔隙。

光固化快速成形(指单体、低聚体或聚合体基质在光诱导下的固化)应该是 3D 打印技术中精度最高,表面也最光滑,材料层厚可以达到 $16\mu\text{m}$ 的一种成形技术。如图 1-3 所示为 3D 打印出的机电零件。



图 1-3 3D 打印出的机电零件

与传统技术相比,三维打印技术还拥有如下优势:通过摒弃生产线而降低成本;大幅减少材料浪费;可以制造出传统生产技术无法制造出的物体;在具有良好设计概念和设计过程的情况下,三维打印技术还可以简化生产制造过程,快速有效而又廉价地生产出单个物品。3D 打印技术最突出的优点是无需机械加工或任何模具,就能直接从计算机三维图形数据中生成任何形状的零件,从而极大地缩短产品的研制周期,提高生产率和降低生产成本。

3D 打印难能可贵的一点还在于能让传统加工难以制作的立体得于精巧造型。如图 1-4 所示的玲珑剔透的奖杯和图 1-5 所示的“七巧仿金戒指”等。

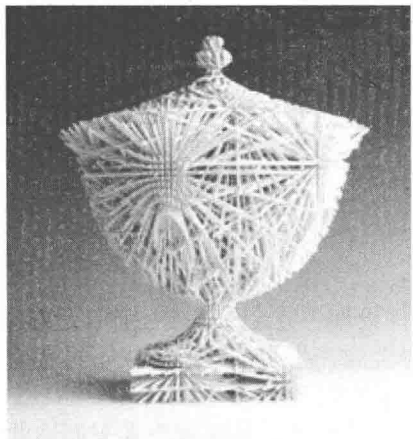


图 1-4 3D 打印出的奖杯

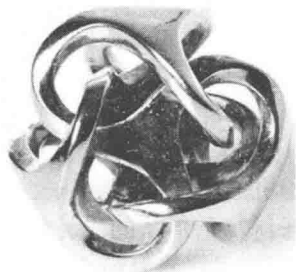


图 1-5 3D 打印出的“七巧仿金戒指”

三、3D 打印愿景

近年来,3D 打印发展很快,如利用 3D 打印技术制造人类骨骼组织的技术已经成熟;哈佛大学医学院的一个研究小组成功研制了一款可以实现生物细胞打印的设备;另外,3D 打印人体器官的尝试也已实现。如图 1-6 所示为精准手术打印出的人体心脏。

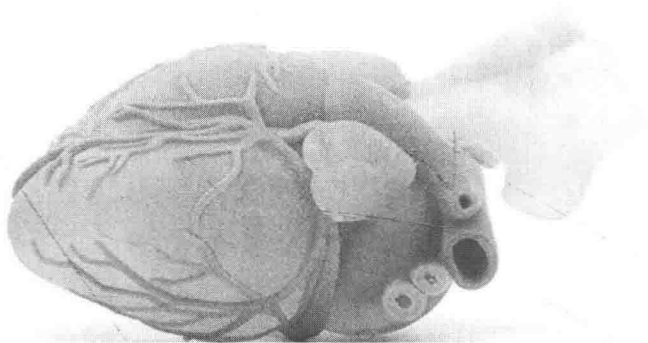


图 1-6 3D 打印出的人体心脏

目前的 3D 打印机型琳琅满目,打印出的作品小到微米级的精细零件、大到汽车、飞机器材、建筑房屋等。它不仅使立体物品的造价降低,且激发了人们的想象力。3D 打印技术可用于珠宝、鞋类、工业设计、建筑、工程和施工(AEC)、汽车、航空航天、牙科和医疗产业、教育、地理信息系统、土木工程和许多其他领域。如图 1-7 所示为电子扫描人体脚部而打印出的个性化“鞋”。如图 1-8 所示为电子扫描人体而打印出的“个性化”服装。如图 1-9 所示为世界上第一个 3D 打印的“建筑”,如图 1-10 所示为 3D 打印的“万达商城”。如图 1-11 所示为 3D 打印出的新式概念汽车。

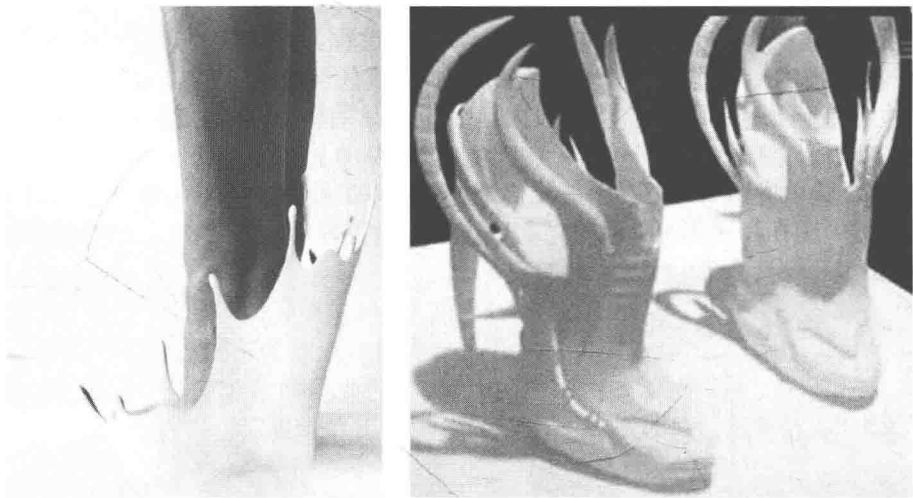


图 1-7 3D 打印出的“个性化”鞋

3D 打印带来了世界性制造业革命。以前的“部件设计”完全依赖于生产工艺能否实现,而 3D 打印机的出现,将会颠覆这一生产思路,使得企业在生产部件的时候不再考虑生产工艺问题,任何复杂形状的设计均可以通过 3D 打印机来实现。

3D 打印技术尽管有待完善,但 3D 打印技术市场潜力巨大,势必成为未来制造业的突破性技术之一。有人预料 3D 打印能让人们获得巨大的生产自由度,能生产前所未有的东西。



图 1-8 3D 打印出的“个性化”服装

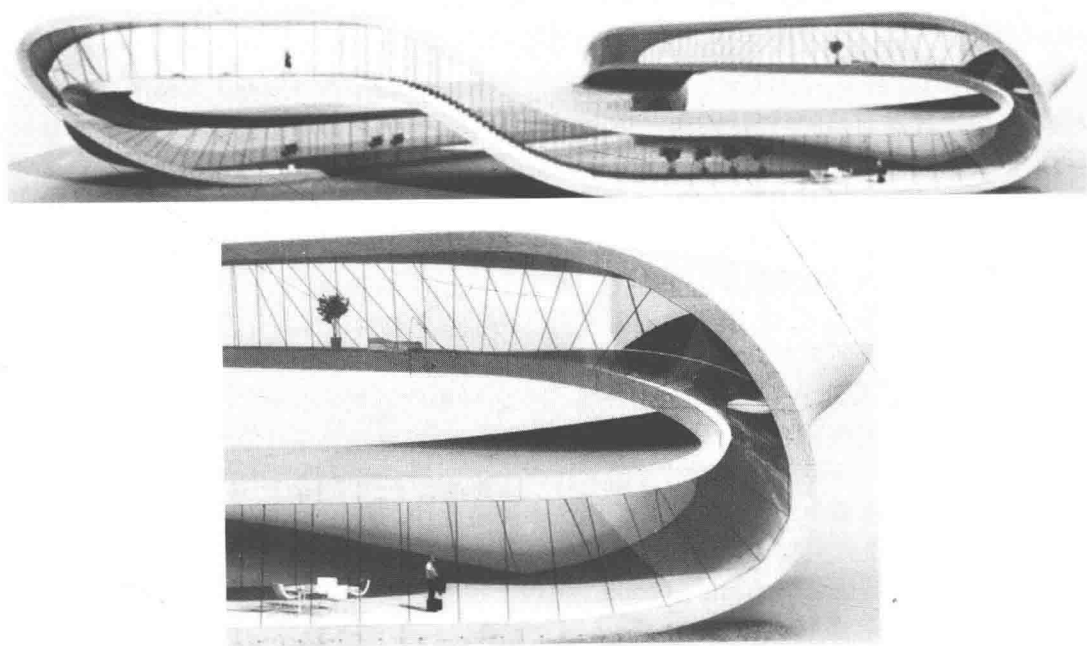


图 1-9 世界上第一个 3D 打印的“建筑”

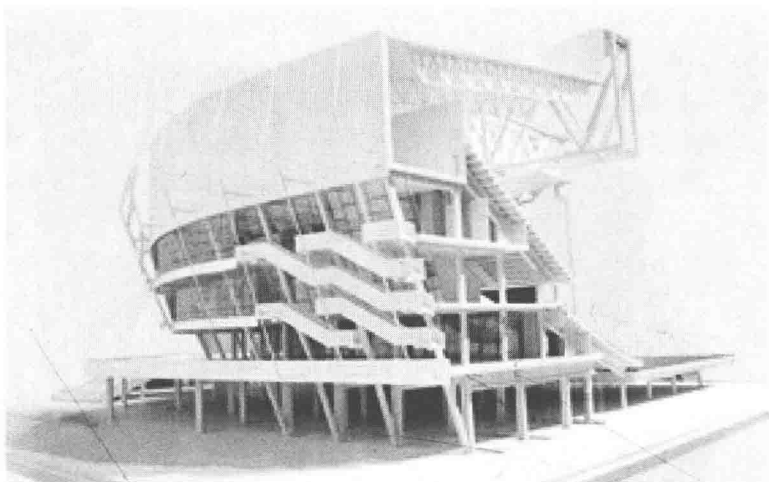


图 1-10 3D 打印的“万达商城”



图 1-11 3D 打印出的新式概念汽车

随着 3D 打印材料的多样化发展以及打印技术的革新,3D 打印不仅在传统的制造行业体现出非凡的发展潜力,同时其魅力更延伸至食品制造、服装奢侈品、影视传媒以及教育等多个与人们生活息息相关的领域。

在打印速度上,已突破了送丝速度 300mm/s 的极限,达到 350mm/s。在体积突破上,3D 打印机体积为适合不同行业的需求,也呈现“小型轻盈”和“大尺寸”的多样化选择。

大多数创造物的最高分辨率为 100 μm 。但是现在已经能够以 25 μm 的分辨率进行打印,打印出精度高、表面光洁、色彩逼真而且没有任何毛刺的物体。家庭用户也可以使用打印机打印玩具和临时需要的东西,25 μm 的分辨率甚至可以让你使用足够牢固的材料来打印义齿。

3D 打印领域发展迅猛,从巨型的房屋打印机到微型的纳米级细胞打印机,各种新技术层出不穷,随着技术发展和成本的降低,3D 打印改变世界将不再是一个梦想。

工业级 3D 打印拥有更加光明的前景,并将给多个领域带来极大的影响。部件整合技术能将产品的各个部件整合成数量更少、功能更多的装配件,而 3D 打印技术能够助力这一技术实现突破,并实现完美整合。例如,德国独立汽车设计公司 EDAG 在 2015 年的日内瓦车展上带来一款神奇的概念车 Light Cocoon,值得一提的是,新车外壳每平方米仅重 19g,是一张 A4 纸的 1/4。未来 10 年,在智能制造的大背景下,3D 打印技术将与物联网技术、大数据、云计算、机器人、智能材料等其他先进技术充分融合,成为若干智能制造平台上的某个部分。

我国在飞机钛合金大型整体结构件的激光快速成形方面取得了重要突破,有效解决了激

光快速成形钛合金大型整体结构件的变形开裂及内部质量控制两大技术难题,通过对钛合金零件凝固组织的有效控制,所成形的飞机钛合金结构件的综合力学性能已达到或超过钛合金模锻件。我国成为当今世界上唯一掌握激光成形钛合金大型主承力构件制造、应用的国家。“钛合金 3D 打印技术已用于新机研制”,这一条消息立刻成为媒体关注的焦点。在解决了材料变形和缺陷控制的难题后,中国生产的钛合金结构部件迅速成为中国航空力量的一项独特优势。我国“3D 激光焊接快速成形技术”研发,解决了多项世界技术难题,生产出结构复杂、尺寸达到 4m 量级、成形超过 12m^2 的复杂钛合金构件。

值得指出的是——“互联网”与“3D 打印”跨界组合,将产生更多创新和创业机会。展望未来,3D 打印将让制造业供应链链条缩短,使得设计、打印、物流更好的整合。

3D 打印技术的出现使制造业的成功不再取决于生产规模,而取决于创意,如雨后春笋般兴起的“创客”(把创意变成现实的人,就是创客)运行方式,让“3D 打印”成为创意灵感转化为实物的开放式实验室平台。然而,单靠创意也不够,模仿者和创新者都能轻而易举地在市场上快速推出新产品。因此,竞争优势可能将前所未有地变得更短。一旦物品能用数字文件来描述,它们就会变得很容易复制和传播,人们在知识产权领域进行的斗争会更加激烈。

在医学领域,3D 打印出来的器官或身体组织都需要同身体的血管相连,而这可能非常难实现。一旦克服了这个技术障碍,在未来几十年内,生物打印技术将成为一项标准技术。

3D 打印技术实质是“激光快速成形技术”,也被称为“增量技术”“增材技术”,将带动工业设计、新材料、精益制造等多个领域颠覆性的改变。

四、4D 打印崭露头角——可创造出“智能化”的物体

4D 打印是一种无需打印机器就能让材料快速成形的革命性新技术。所谓第 4 维度指的是时间,该技术就是让物体随着时间的推移,自我进行变化。例如家具可以自行组装。如图 1-12 所示为 4D 打印出的自动成形的零件。4D 打印中复合材料的表现与记忆金属看起来有一丝相似,但却完全不同。复合材料是按照预先设定好的时间形状变形,让物体如机器般自动制造,而不是先设定好物体然后再制造。而记忆金属则是在特定外部条件下回归原来的形状,即物体已经被设定完成,而不是被制造。与 3D 打印需要建模、扫描不同,4D 打印更为智能,物料可自行创造,简化了打印过程。4D 打印所采用的即是通过 3D 打印完成材料建模,同时在制作复合材料或刷树脂的过程中,用芯片或塑形变化等手段,达到使材料能在特定时间完成形变的目的。

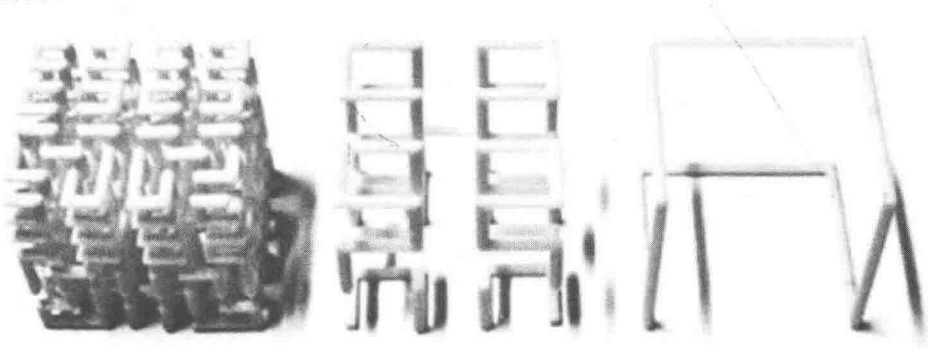


图 1-12 4D 打印出的产品

目前,4D 打印技术需要一种可以创造多层材料的特制 3D 打印机,水作为材料打印出来后,再进行扩展的能量来源。这个非常棒的概念就是创造出一种能够在被打印出来之后发生改变的物体,而且它们能够进行自我调整。打印不再是创造过程的终结,而仅仅是一条路径。科

学家通过软件完成建模和设定时间后,变形材料会在指定时间自动变形成所需要的形状,如图 1-12 所示为经 4D 打印出的几种产品。目前往往使用水来激活并且为一连串自动折叠成为设计形状的材料提供能量。设计出产品并且打印出来,而它能够进化,它就像在材料中植入了智慧。想象一下如果水管能够膨胀或者收缩,或者甚至起伏波动来自动传送水流。有人设想,把具有“智慧”的材料发往月球,再按设定好的方案自我调整、安装成机器——这是多么惬意的事。

可以畅想,4D 打印通过软件设定模型和时间,复合材料会在指定时间之内变形为所需的形状。4D 打印通过硬件和软件的紧密结合,不但能够创造出有智慧、有适应能力的新事物,还可以彻底改变传统的工业造物模式。

但也应当认识到,4D 打印技术仍面临诸多难题,目前才刚刚摸索到这项技术的表层。4D 打印概念的灵感来自于生物的自我复制能力。不过,该技术初期只能“打印”自动变形的条状物体,其下一步的研究目标是“打印”片状物体,然后才是结构更加复杂的物体。

五、三维建模与视图的关系

3D 打印若仅用于仿造,可运用立体分层扫描技术;而要创新,欲获得前所未有的物件,只能凭灵感设计——三维建模。所以,作为创新 3D 打印的基础——三维建模,已经成为业内人士追捧的热点。

若仅需进行模糊三维设计,可以脱离工程视图;但要进行三维定量设计,特别对于某些具有公差配偶的零件,往往需要运用工程视图记载信息、存档、交流。如图 1-13 所示的普通阀芯零件,需要利用二维工程视图记载其结构、尺寸公差、表面粗糙度等技术要求,如图 1-14 所示为阀芯零件的二维工程视图。

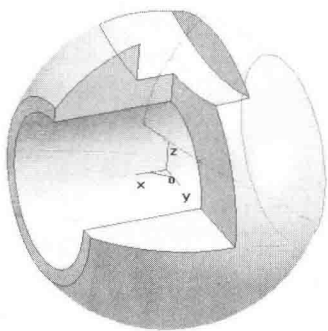


图 1-13 阀芯零件三维建模

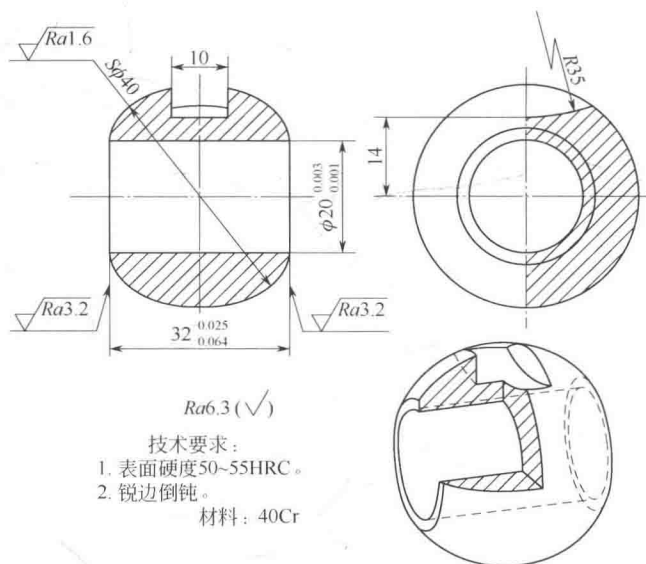


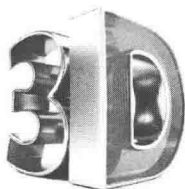
图 1-14 阀芯零件二维工程视图

作者期望引领读者顺畅看懂工程视图,想象立体形状,开发右脑空间思维,创新三维建模设计,在 3D 打印领域里驰骋。

本书以机械零件三维建模为主线阐述,至于一般曲面造型,将另书撰著。

第二章

基本几何体奇巧造型



物体形状千差万别，但其组成一般可归结为七种基本几何体叠加或挖切而成。基本几何体可分为平面体（棱柱、棱锥）和曲面体（圆柱、圆锥、球、环、一般回转体）两类，如图 2-1 所示。

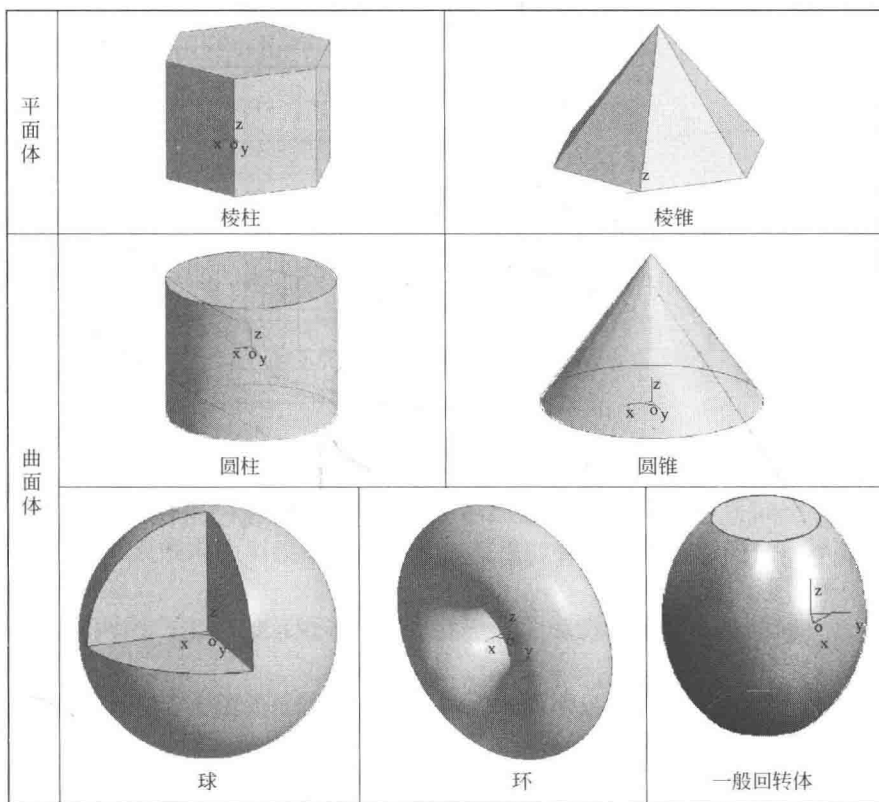


图 2-1 基本几何体

预备知识:

(1) 正投影 正投影是用平行光线照射物体,而在与光线垂直的平面上得到映像的方法,如图 2-2 所示。工程图样是根据正投影的原理绘制的。

(2) 三投影面体系 如图 2-3 所示。国标规定了三个互相垂直的投影面,即正面、水平面、侧面投影面;为将投影图展平在一个平面上,国标规定正面投影面不动,将水平投影面向下旋转 90° 、将侧面投影面向左旋转 90° 。这样就能把三个投影图画在一张图纸上了,成为三视图。(ISO) 还规定正面投影面代号为 V, 水平投影面代号为 H, 侧立投影面代号为 W, 见图 2-4。

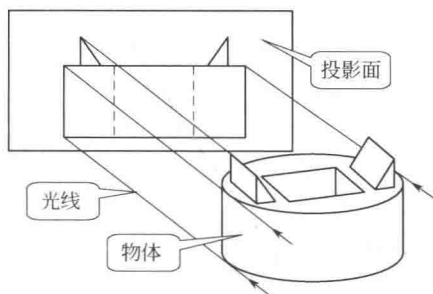


图 2-2 正投影

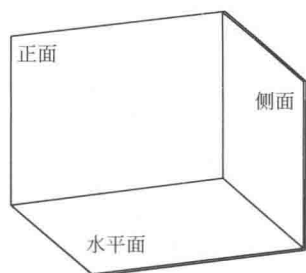


图 2-3 三投影面体系

(3) 三视图投影规律 如图 2-5 所示。主视、俯视——长对正;主视、左视——高平齐;俯视、左视——宽相等。

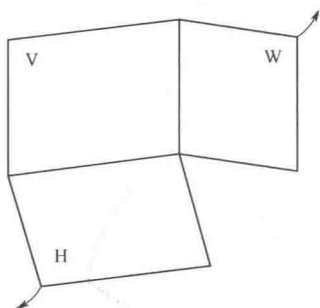


图 2-4 三投影面体系旋转规定

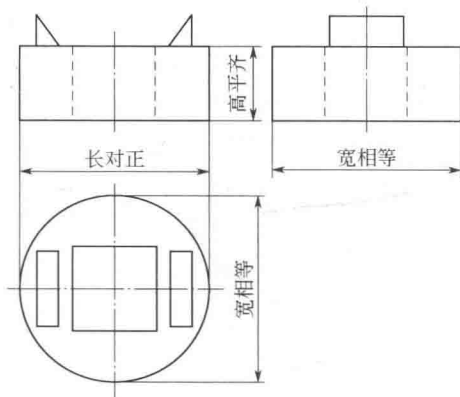


图 2-5 三视图投影规律

(4) 视图与空间方位的关系 如图 2-6 (a) 所示。主视、俯视——显左右;主视、左视——分上下;俯视、左视——看前后。

(5) 空间平面形的投影特性

① 实形性: 空间平面形平行投影面——其投影实形现, 如图 2-7 中, Q 面的主视图 q' 线框反映实形。

② 类似性: 空间平面形倾斜投影面——其投影类似形, 如图 2-7 中, P 面的俯视图 p 线框、左视图 p'' 线框为面积缩小的类似形。

③ 积聚性: 空间平面形垂直投影面——其投影成直线, 如图 2-7 中, Q 面的俯视图 q 线、左视图 q'' 线为 Q 面的积聚性投影; 同样, 主视图中的 p' 线是 P 面的积聚性投影。

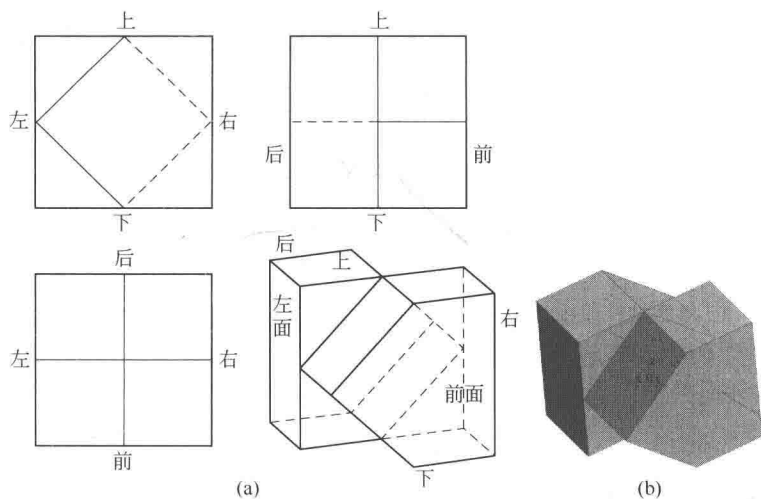


图 2-6 视图与空间方位的关系

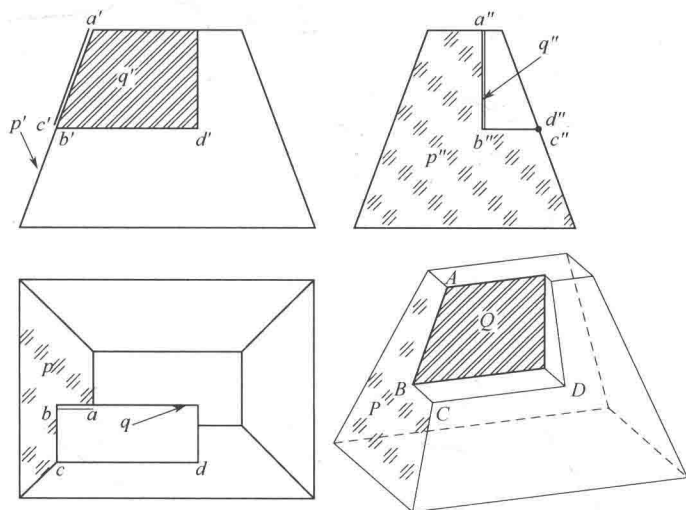


图 2-7 空间平面形的投影特性

(6) 空间直线段的投影特性

① 实长性：空间直线段平行投影面——其投影实长现，如图 2-7 中， AB 线的主视图 $a' b'$ 反映实长。

② 缩短性：空间直线段倾斜投影面——其投影长变短，如图 2-7 中， AB 线的俯视图 ab 、左视图 $a'' b''$ 长变短。

③ 积聚性：空间直线段垂直投影面——其投影成一点，如图 2-7 中， CD 线的左视图 $c'' d''$ 积聚成一点。

(7) 视图中线框、线条的空间含义

分析视图，可看出视图中除了线条，就是由线条围成的线框。要想提升空间思维能力，弄清视图中的线条和线框的空间含义很有必要。

① 线条——可归纳为三种空间含义：

a. 表示空间立体上棱线的投影，如图 2-7 中的 AB 直线；