

3D DAYIN QINGSONG SHIJIAN

CONG CAILIAO YINGYONG DAO SANWEI JIANMO



3D打印 轻松实践

从材料应用到三维建模

大量典型制作实例

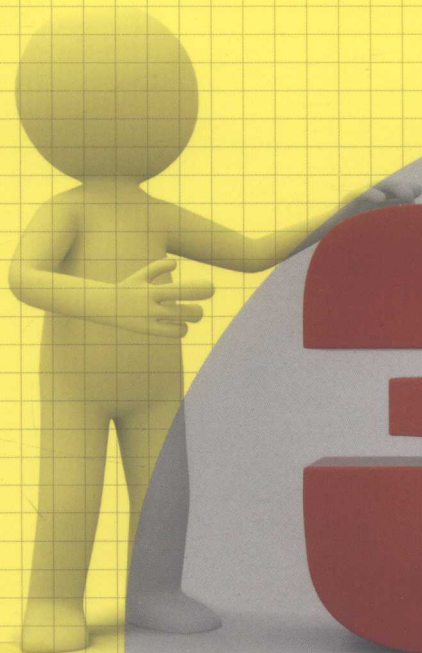
+

循序渐进实际操作

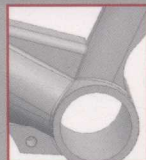
+

快速掌握3D打印

辛志杰 等编著



3D



化学工业出版社

3D DAYIN QINGSONG SHIJIAN

CONG CAILIAO YINGYONG DAO SANWEI JIANMO

3D打印 轻松实践

从材料应用到三维建模

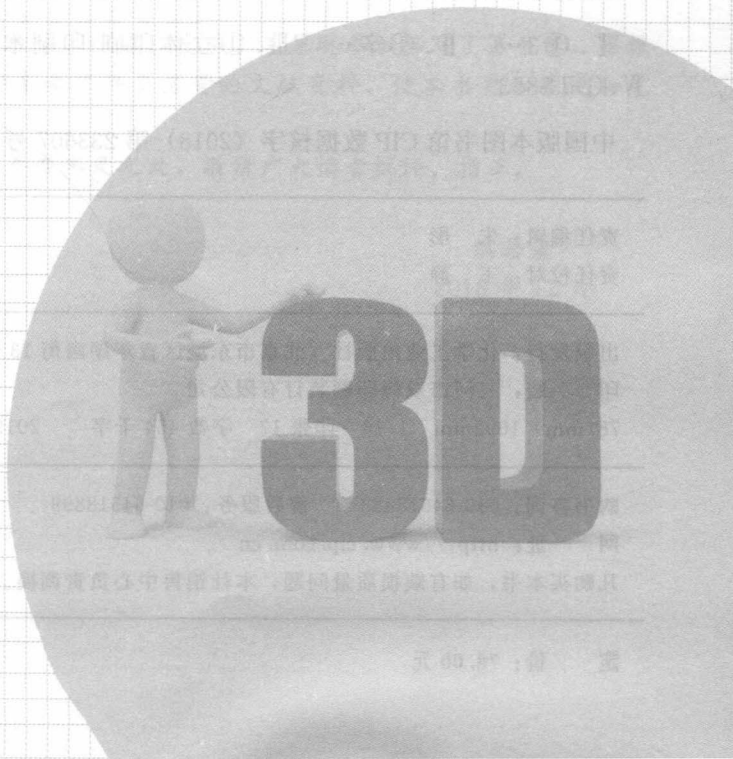


辛志杰 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·



3D 打印技术是具有广泛应用需求与光明前景的新兴增材制造技术。三维建模是 3D 打印的前提和基础,对于多品种、小批量、周期短产品的研发和生产具有重要意义。

本书全面介绍了 3D 打印成形技术以及三维建模在 3D 打印中的应用,结合当今流行的 UG NX、PTC Creo 及 SolidWorks 三种建模软件,通过大量典型制作实例,循序渐进地进行实际操作,能使读者轻松、快速掌握 3D 打印、三维建模实际能力与技巧。本书还详细阐述了各类 3D 打印机的工作原理、技术特点和打印设备,介绍了大量 3D 打印常用材料的分类、性能及其应用技术等。

全书图文并茂,内容丰富、实用。本书可供从事机电产品设计、机械制造及其自动化、材料科学与工程等专业的科技人员和在校师生参考,也可供广大机械制造、材料成形、医疗、汽车制造、飞机零部件、商业机器、模型、玩具、服装等领域专业人士和众多 3D 打印 DIY 人士参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印轻松实践:从材料应用到三维建模/辛志杰等编著. —北京:化学工业出版社,2018.12

ISBN 978-7-122-33110-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 233607 号

责任编辑:朱 彤

文字编辑:陈 喆

责任校对:王 静

装帧设计:刘丽华

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 装:三河市双峰印刷装订有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 454 千字 2019 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 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

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

三维建模是采用三维表达方式对实体进行从概念到模型的一种设计方法。随着计算机辅助设计技术的发展,通过三维设计软件利用虚拟三维空间构建出具有三维数据的模型已成为三维建模的主要方式,三维模型在各种不同的产业领域具有非常广泛的应用。

3D 打印技术是具有工业革命意义的新兴增材制造技术,它正逐步融入产品的研发、设计、生产各个环节,是材料科学、制造工艺与信息技术的高度融合与创新,是推动生产方式向柔性化、绿色化发展的重要途径,是优化、补充传统制造方式,催生生产新模式、新业态和新市场的重要手段。当前,3D 打印技术已在装备制造、机械电子、军事、医疗、建筑、食品等多个领域起步应用,产业呈现快速增长势头,发展前景良好。3D 打印是基于打印件的 CAD 模型,采用增材制造原理,应用不同的打印方法,高效、高精度地制造出产品或模型。三维建模是 3D 打印的前提和基础,三维建模和 3D 打印技术的广泛应用,能够有效地缩短产品的研发和制造周期,促进产品的多样化。

本书介绍了三维建模与 3D 打印技术的相关概念、3D 打印的建模方法及其应用,分别以 PTC Creo parametric、UG NX、Solidworks 三种参数化设计软件为例,结合实际应用进行了建模方法的详细应用。本书还阐述了 3D 打印技术的原理和 3D 打印技术的分类,介绍了熔融沉积成形(FDM)、光固化快速成形(SLA)、叠层实体制造(LOM)以及黏结剂喷射成形(3DP)的工作原理、技术特点、成形误差、控制系统和典型的打印设备,详细介绍了金属材料 3D 打印成形的各种技术原理、工艺特点及其实际应用,阐述了大量 3D 打印常用材料的分类、性能及其应用领域、应用技术等。本书可供从事机电产品设计、机械制造及其自动化、材料科学与工程等专业的科技人员和在校师生参考,也可供广大机械制造、材料成形、医疗、汽车制造、飞机零部件、商业机器、模型、玩具、服装等领域专业人士和众多 3D 打印 DIY 人士参考。

本书由辛志杰等编著。在本书编写过程中,王睿、张燕、石慧琳参加编写了第 2 章,陈振亚参加编写了第 8 章。本书在编写过程中参考了许多宝贵的文献资料,使本书更加系统和完善。在此向这些文献的作者表示衷心感谢!

由于编者水平和时间有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评、指正。

编著者

2018 年 12 月

第 1 章 概述	001
1.1 3D 打印成形技术	001
1.1.1 3D 打印技术简介	001
1.1.2 3D 打印技术分类	002
1.1.3 三维建模与 3D 打印成形技术	003
1.2 3D 打印建模方法	003
1.2.1 正向设计	003
1.2.2 逆向设计	004
1.2.3 正逆向混合设计	004
1.3 计算机辅助三维建模	004
1.3.1 线框建模	005
1.3.2 曲面建模	005
1.3.3 实体建模	005
第 2 章 三维建模方法	006
2.1 概述	006
2.2 基于 PTC Creo Parametric 的三维建模方法	006
2.2.1 PTC Creo Parametric 简介及特点	006
2.2.2 PTC Creo Parametric 工作界面	007
2.2.3 PTC Creo Parametric 快速上手	008
2.2.4 三维建模实例	009
2.2.5 PTC Creo Parametric 模型在 3D 打印机上的应用	032
2.3 基于 UG NX 的三维建模方法	034
2.3.1 UG NX10.0 简介及特点	034
2.3.2 UG NX10.0 工作界面	034
2.3.3 UG NX10.0 快速上手	036
2.3.4 三维建模实例	038
2.3.5 UG NX10.0 模型在 3D 打印机上的应用	084
2.4 基于 SolidWorks 的三维建模方法	084
2.4.1 SolidWorks 简介	084
2.4.2 SolidWorks 工作界面	084
2.4.3 SolidWorks 快速上手	086
2.4.4 三维建模实例	089
2.4.5 SolidWorks 模型在 3D 打印机上的应用	115
第 3 章 熔融沉积成形	116
3.1 熔融沉积成形技术原理	116
3.2 熔融沉积成形系统组成	118
3.2.1 供料机构	118
3.2.2 喷头	118

3.2.3	运动系统	119
3.3	熔融沉积成形工艺特点	122
3.4	成形材料与支撑材料	123
3.4.1	熔融沉积快速成形对成形材料的要求	123
3.4.2	熔融沉积快速成形对支撑材料的要求	123
3.5	熔融沉积成形工艺误差影响因素	124
3.5.1	材料特性对误差的影响	124
3.5.2	打印速度对误差的影响	124
3.5.3	打印温度对误差的影响	125
3.5.4	熔融沉积成形机器误差的影响	125
3.5.5	分层厚度对误差的影响	126
3.5.6	CAD 模型误差	126
3.6	熔融沉积成形打印设备	126
3.6.1	Stratasys 公司的 3D 打印机	126
3.6.2	3D Systems 公司的 3D 打印机	128
3.6.3	上海富奇凡公司的 HTS 系列 3D 打印机	129
3.7	熔融沉积成形技术的应用	132
3.7.1	汽车工业	132
3.7.2	航空航天	133
3.7.3	医疗卫生	133
3.7.4	教育教学	133
3.7.5	食品加工	134
3.7.6	其他应用	134
第 4 章	光固化快速成形	135
4.1	光固化快速成形工作原理	135
4.2	光固化快速成形技术优缺点	136
4.3	光固化快速成形技术的研究进展	137
4.3.1	微光固化快速成形制造技术	137
4.3.2	生物医学领域	137
4.4	光固化快速成形工艺过程	138
4.4.1	前处理	138
4.4.2	原型制作	141
4.4.3	后处理	141
4.5	系统组成	142
4.5.1	光源系统	143
4.5.2	光学扫描系统	145
4.5.3	托板升降系统	146
4.5.4	涂覆刮平系统	146
4.6	光固化快速成形系统控制技术	148
4.6.1	光固化快速成形控制系统硬件	148
4.6.2	光固化快速成形控制系统软件	152
4.7	成形材料	153
4.7.1	光固化材料优点及分类	153
4.7.2	光敏树脂的组成及其光固化特性	154

4.7.3	光固化快速成形材料	154
4.8	成形质量影响因素	157
4.8.1	数据处理误差	157
4.8.2	成形加工误差	158
4.8.3	后处理产生的误差	159
4.9	基于光固化快速成形技术的 3D 打印机	159
4.9.1	3D Systems 光固化 3D 打印机	159
4.9.2	陕西恒通光固化 3D 打印机	160
4.9.3	中瑞科技光固化 3D 打印机	162
4.10	光固化快速成形技术的应用	163
4.10.1	光固化快速成形在航空航天领域的应用	163
4.10.2	光固化快速成形在汽车领域的应用	163
4.10.3	光固化快速成形在艺术领域的应用	164
第 5 章 金属材料 3D 打印成形		165
5.1	选区激光烧结/熔化成形 (SLS、SLM)	165
5.1.1	选区激光烧结/熔化成形工作原理	165
5.1.2	选区激光烧结/熔化成形供粉系统	167
5.1.3	选区激光烧结/熔化成形技术特点	169
5.1.4	选区激光烧结/熔化成形典型设备	170
5.1.5	选区激光烧结/熔化成形工艺应用	174
5.2	激光熔覆成形	176
5.2.1	激光熔覆成形工作原理	176
5.2.2	激光熔覆成形技术特点	179
5.2.3	激光熔覆成形典型设备	180
5.2.4	激光熔覆成形工艺应用	181
5.3	电子束熔化成形	183
5.3.1	电子束熔化成形工作原理	183
5.3.2	电子束熔化成形技术特点	184
5.3.3	电子束熔化成形工艺应用	185
5.4	电子束熔覆成形	186
5.5	熔化液滴喷射沉积成形	187
5.5.1	熔化液滴喷射沉积成形工作原理	187
5.5.2	熔化液滴喷射沉积成形影响因素	188
5.5.3	熔化液滴喷射沉积成形工艺应用	189
5.6	金属构件黏结剂喷射式成形	189
5.7	金属构件 3D 冷打印成形	191
第 6 章 黏结剂喷射成形		193
6.1	黏结剂喷射成形工作原理	193
6.2	黏结剂喷射成形技术特点	194
6.3	黏结剂喷射成形系统组成	194
6.3.1	喷射系统	195
6.3.2	XYZ 运动系统	196
6.3.3	其他部件	197

6.4	黏结剂喷射成形系统控制技术	197
6.4.1	运动控制	198
6.4.2	喷墨控制	198
6.4.3	主控制模块	199
6.4.4	通信接口及温度控制	199
6.5	成形材料	199
6.5.1	成形粉末材料	200
6.5.2	黏结剂材料	200
6.6	3DP 工艺成形质量影响因素	201
6.7	3DP 打印机	202
6.7.1	3D Systems 公司的 3D 打印机	202
6.7.2	ExOne 公司的 3D 打印机	204
6.7.3	Voxeljet 公司的 3D 打印机	205
6.7.4	上海富奇凡公司的 LTY 型 3D 打印机	209
6.8	3DP 技术的应用	210
6.8.1	原型全彩打印	210
6.8.2	金属直接成形	211
6.8.3	砂模铸造成形	212
第 7 章	叠层实体制造	213
7.1	概述	213
7.2	LOM 成形工作原理	213
7.3	叠层实体制造技术特点	214
7.4	叠层实体制造系统组成	215
7.4.1	切割系统	215
7.4.2	升降系统	217
7.4.3	加热系统	217
7.4.4	材料供给与回收系统	218
7.5	叠层实体制造系统控制技术	220
7.6	叠层实体制造工艺成形质量影响因素	221
7.6.1	分层制造引起的台阶效应对成形精度的影响	221
7.6.2	STL 格式拟合精度对成形精度的影响	221
7.6.3	分层方法对成形精度的影响	221
7.6.4	成形机对成形精度的影响	222
7.6.5	成形材料的热湿变形对成形精度的影响	222
7.7	叠层实体制造工艺后处理	222
7.8	叠层实体制造的材料	223
7.9	叠层实体制造成形设备	225
7.9.1	南京紫金立德公司的成形机	225
7.9.2	武汉滨湖机电公司的成形机	225
7.9.3	美国 Helisys 公司的成形机	227
7.10	叠层实体制造技术的应用	227
7.10.1	产品外观评价、结构设计验证	227
7.10.2	新产品试制	228
7.10.3	快速制模	228

7.10.4	工艺品制作	229
第8章 3D打印成形材料		231
8.1	塑料材料	231
8.1.1	塑料的分类	232
8.1.2	塑料的性能特点	233
8.1.3	尼龙材料	233
8.1.4	ABS材料	235
8.1.5	ABS系列改性材料	235
8.1.6	PLA材料	237
8.1.7	PC材料	238
8.1.8	PC/ABS合金材料	240
8.1.9	PC-ISO材料	240
8.1.10	砜聚合物材料	241
8.1.11	聚醚酰亚胺材料	242
8.2	光敏树脂材料	242
8.2.1	环氧树脂	242
8.2.2	丙烯酸树脂	243
8.2.3	Objet Polyjet 光敏树脂	244
8.2.4	DSM Somos 光敏树脂	244
8.3	金属材料	245
8.3.1	钛合金	246
8.3.2	不锈钢	248
8.3.3	铝合金	249
8.3.4	黄铜	251
8.3.5	钴铬钼耐热合金	251
8.3.6	高温合金	251
8.3.7	镁合金	252
8.4	复合材料	252
8.4.1	尼龙铝	252
8.4.2	玻璃纤维填充尼龙	252
8.4.3	连续纤维增强热塑性复合材料	253
8.5	无机非金属材料	254
8.5.1	陶瓷材料	254
8.5.2	石膏材料	256
8.5.3	砂岩材料	257
8.6	橡胶材料	258
8.7	其他3D打印材料	260
8.7.1	淀粉材料	260
8.7.2	食用材料	260
8.7.3	生物细胞材料	261
8.7.4	硅胶材料	262
8.7.5	人造骨粉材料	262
参考文献		264

第 1 章

概述

三维建模是物体的多边形三维表达方式，通常用计算机或者其他视频设备进行显示或输出。显示的物体可以是现实世界的实体，也可以是虚构的物体。三维模型一般用三维建模软件生成，也可以用其他方法生成。三维建模有三种层次的建立方法，即线框、曲面和实体，也就是分别对应于用一维的线、二维的面和三维的体来构造形体。通过计算机辅助设计（CAD）建立的立体、有光、有色的生动画面，可以虚拟逼真地表达出产品的设计效果，比传统的二维设计图更符合人的思维习惯与视觉习惯。

产品的设计制造方法是：首先设计者根据用户需求或设计构思进行产品的概念设计，提出产品要满足的功能；然后提出满足功能的原理实现方案，通过分析计算，确定具体的功能结构，并进行详细的工程图设计；根据工程图或实体模型进行加工生产。在产品的设计、制造过程中，由于计算机辅助设计的介入，实现了三维立体化设计，产品的任何细节都能在计算机中进行显示，设计者可以对产品的形态、色彩、纹理、比例等进行全方位的修改和完善。

3D 打印成形不同于传统的切削加工等减材制造方式，而是一个全新的增材制造领域。3D 打印是基于打印件的 CAD 模型，采用增材制造原理，应用不同的打印方法，高效、高精度地制造出产品或模型。在传统制造业中，产品的加工需要按照图样要求和工艺文件进行加工生产，所经历的步骤繁多，产品工艺链长，工艺文件编制涉及的加工资料多，产品改型经济损耗大。而 3D 打印在整个制造过程中缩减了产品的外围生产资料，直接从产品模型到产品。对于产品的修改只需对模型进行修改，改善了产品工艺的柔性。3D 打印工艺采用细微原材料逐层堆叠而生成三维立体的实体，该工艺只需在计算机上设计出产品模型或者扫描实体得到数据，就可以用 3D 打印机打印出实物。该工艺无需传统的机床、刀具、模具、辅具、夹具，不需要经过复杂的工艺过程，就可以将设计的模型变为实物。

1.1 3D 打印成形技术

1.1.1 3D 打印技术简介

3D 打印技术是由三维模型驱动的快速制造三维实体的技术总称。它是以计算机三维设计模型为蓝本，通过软件分层离散和数控成形系统，利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、

陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结，最终叠加成形，制造出实体产品。与传统制造业通过模具、车铣等机械加工方式对原材料进行定型、切削以最终生产成品不同，3D 打印将三维实体变为若干个二维平面，通过对材料处理并逐层叠加进行生产，大大降低了制造的复杂度。这种数字化制造模式不需要复杂的工艺、庞大的机床及众多的人力，直接从计算机图形数据便可生成任何形状的零件，使生产制造得以向更广的生产人群范围延伸。

3D 打印机与普通打印机工作原理基本相同，只是打印材料有些不同。普通打印机可以打印计算机设计的平面物品，普通打印机的打印材料是墨粉和纸张。而 3D 打印机内装有金属、陶瓷、塑料、砂等不同的打印材料（属于实实在在的原材料）。3D 打印机与计算机连接后，通过计算机控制可以把打印材料一层层叠加起来，最终把计算机上显示的蓝图变成实物。通俗地说，3D 打印机是可以“打印”出真实的 3D 物体的一种设备，如打印出机器人、玩具车、各种模型，甚至食物等。

3D 打印技术将是新的工业革命的核心，是产品创新和制造技术创新的共性使能技术，并深刻改革制造业的生产模式和产业形态。有学者提出 3D 打印将带来第三次工业革命，将形成多品种、小批量、定制式的新型生产模式。3D 打印既是制造工艺的原理创新，也是应用数字化技术的产品创新，将可能改变整个制造业的面貌。3D 打印是增材制造方法的新发展，能大大提高新材料的成形能力。3D 打印机是制造业数字化的典型代表，特别适用于个性化定制生产；3D 打印机是产品创新的一种高效共性使能装备；3D 打印机可能成为生命科学最有效的装备之一。在第三次工业革命中，生命科学的发展占有十分重要的位置，例如制造人体活器官的组织工程研究，在此项研究中如何构成所需的复杂多孔 3D 支架，以及如何注入人体种子细胞是组织工程的关键所在。目前出现的 3D 生物打印机，可以进行细胞/器官打印工艺，期待成为未来人体器官制造的重要装备。

1.1.2 3D 打印技术分类

3D 打印是“增材制造”（Additive Manufacturing, AM）的主要实现形式。“增材制造”的理念区别于传统的“减材制造”（Subtractive Manufacturing, SM）。传统制造一般是在原材料基础上，使用切削、磨削、腐蚀、熔融等办法，去除多余部分，得到零部件，再以拼装、焊接等方法组合成最终产品。而“增材制造”与之截然不同，无需原坯和模具，就能直接根据计算机图形数据，通过增加材料的方法生成任何形状的物体，简化了产品的制造程序，缩短了产品的研制周期，提高了效率并降低成本。

3D 打印是增材制造的统称，可以概括为几种不同的成形工艺，如表 1-1 所示。其中前五种是根据增材制造初期出现的子技术（快速成形）产生和发展的工艺；后两种是根据增材制造当今发展的子技术（3D 打印）产生的工艺。

表 1-1 增材制造工艺分类

序号	成形工艺	原用名	代表性公司
1	容器内光聚合(vat photopolymerization)	SLA	3D Systems, Envision TEC
2	粉末床烧结/熔化(power bed fusion)	SLS/SLM/EBM	EOS, 3D Systems, Arcam AB
3	片层压(sheet lamination)	LOM	Solido, Fabrisonic
4	黏结剂喷射(binder jetting)	3DP	3D Systems, ExOne, Voxeljet
5	材料挤压(material extrusion)	FDM	Stratasys, RepRap, Bits from Bytes
6	材料喷射(material jetting)	—	OBJET, 3D Systems, Solidscape
7	定向能量沉积(directed energy deposition)	—	Opotomec, POM

按照采用材料形式和工艺实现方法，可将 3D 打印技术分为如图 1-1 所示的五大类。

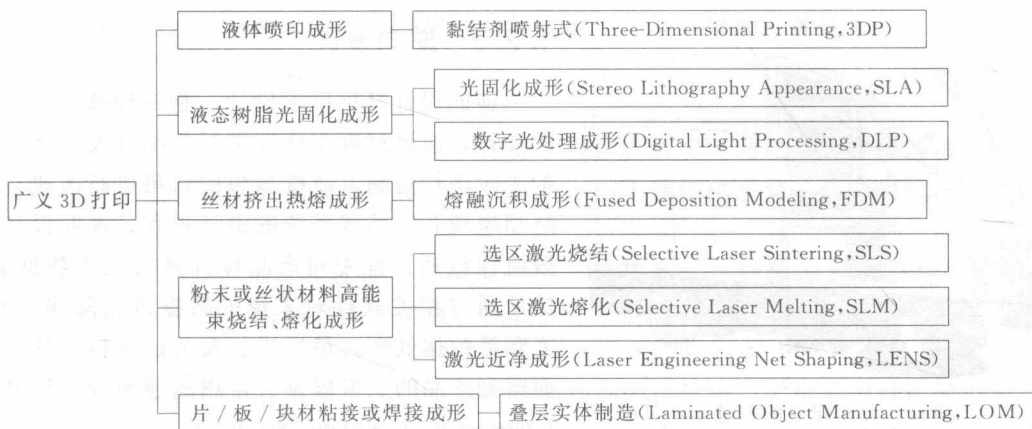


图 1-1 广义 3D 打印技术分类

1.1.3 三维建模与 3D 打印成形技术

3D 打印技术是产品数字化设计技术的典型应用。没有数字化设计技术的发展，不可能实现 3D 打印技术。三维 CAD 模型是 3D 打印的基础和前提，3D 打印所需的 CAD 造型有两种设计方法：一种是实体造型设计；另一种是曲面造型设计。建模只是设计从概念或想法到实体的中间过程，它把概念或想法赋予可视化的形体，在此过程中离不开人的思考或抽象，创意或创新的形成需要设计者完成。

3D 打印机成形工件的全过程包括：用 CAD 软件设计产品的数学模型，或通过 3D 数字扫描机和反求软件建立产品的数学模型；将产品的数字模型输入 3D 打印机，在计算机的控制下，实现产品的无模自由成形。

1.2 3D 打印建模方法

3D 打印建模方法主要分为正向设计、逆向设计和正逆向混合设计。这三种方法在具体应用时，可以利用三维软件建模、仪器设备测量建模或利用图像或者视频建模，采用其中的一种或几种技术相结合。

1.2.1 正向设计

正向设计的方法是一个从概念设计起步到 CAD 模型，它是设计者在进行产品造型设计时主要采用的方法。正向设计的一般流程包括：首先对要设计产品的功能进行分析，在此基础上进行产品的概念设计，即提出满足功能需求、所有的原理实现方案，通过比较选择合适的原理方案；然后通过分析计算得出详细的结构参数，在此基础上建立产品模型。对于复杂的产品，正向设计过程难度系数大、周期较长、成本高、产品研制开发难。正向设计是一个反复的过程，由于设计者无法完全预估产品在设计过程中会出现的状况，需要不断地修改设计方案，才能最终确定产品的定型结构。

常用的正向设计软件包括 UG NX、PTC CreoParametric、SolidWorks、CATIA 等。它们的共同特点是利用一些基本的几何元素（如立方体、球体等），通过一系列几何操作（如平移、旋转、拉伸以及布尔运算等）来构建复杂的几何实体。图 1-2 所示为采用正向设计方法建立的扫地车产品模型。

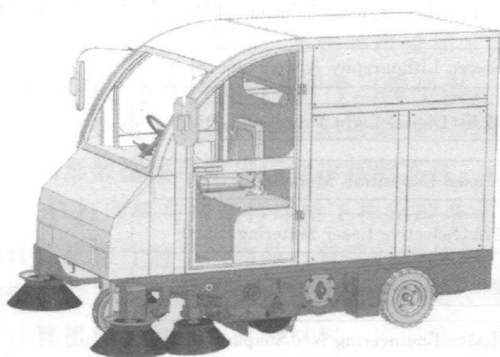


图 1-2 正向设计方法建立的扫地车产品模型

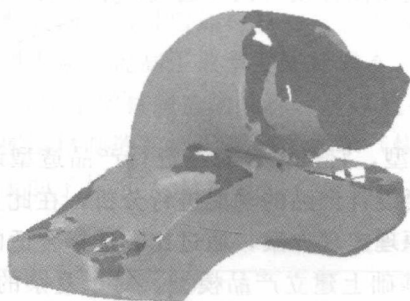
1.2.2 逆向设计

逆向设计又称反求设计，是一种基于逆向推理的设计，通过对现有样件进行产品开发，运用适当的手段进行仿制，或按预想的效果进行改进，并最终超越现有产品或系统的设计过程。逆向设计的一般流程包括：首先对产品样件进行三维数据采集，然后通过相关软件对采集的数据进行降噪、精简、光滑等数据处理，最后进行模型的重构或修改，从而得到产品的三维模型。常用的逆向设计软件包括 Imageware、Geomagic Studio 等。

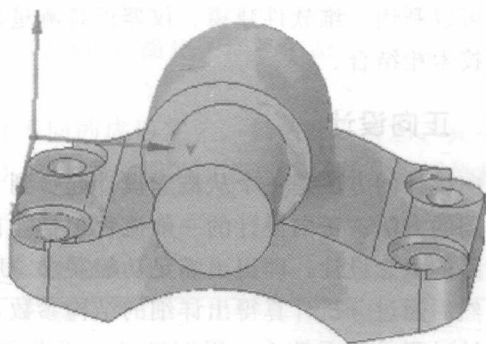
1.2.3 正逆向混合设计

传统的设计方法以正向设计为主，但并不能满足产品设计的需求，将正向设计和逆向设计有机地结合起来已成为设计研发领域的一种趋势。逆向设计和正向设计方法各有所长，逆向设计优势在于测量数据点的强大处理功能和复杂自由曲面的设计，一般逆向软件都提供了对自由曲面的重构、编辑修改等功能；正向设计优势在于特征造型和实体造型，对零件特征的编辑修改比较方便。复杂产品外壳常常既带有复杂曲面，又包含一些简单特征，要通过单一的逆向设计或正向设计方法难以实现设计意图。为此，需要把逆向设计和正向设计的优势结合起来，即采用正逆向混合建模技术，对现有产品进行第二次创新。

混合设计是从测量数据中提取出可以重新进行参数化设计的特征及设计意图，进行再设计，完成 CAD 模型。混合建模方法可以分为三种：基于特征与自由形状的反求建模方法混合；基于截面线与基于面的曲面重建方法混合；几何形状创建过程中曲线曲面的特征形式表达与 NURBS 形式表达混合。混合建模结合了正向建模与逆向建模的优势，将产品经过三维扫描，获得点云数据，对工件进行对齐、封装、修复、填充等处理建立网格面模型，然后经过特征提取、草图设计和定位对齐等来正向设计，以此获得 CAD 模型，如图 1-3 所示。正逆向混合建模软件包括 Geomagic Design Direct 等。



(a)底座模型原始网格面



(b)重构的底座实体模型

图 1-3 正逆向混合建模

1.3 计算机辅助三维建模

计算机辅助建模是利用计算机强有力的计算功能和高效率的图形处理能力，辅助设计者进

行工程和产品的设计与分析,以达到理想的目的或取得创新成果的一种技术。

1.3.1 线框建模

线框模型的表达只需包罗形体的顶点和边界,在计算机中存储顶点表和边表就可以建立形体的线框模型。线框模型数据结构简单、计算量小,但不能解决求交、消隐问题,不能计算物理参数(如重量和惯性矩等)。

线框造型是CAD技术发展过程中最早应用的三维模型,这种模型表示的是物体的棱边。线框模型由物体上的点、直线和曲线组成。在线框造型的过程中,首先根据设计的需要输入点的坐标值,计算机根据输入的坐标值实时地将点显示出来,然后将点用直线或曲线连接起来,即构成了三维线框模型。在汽车、飞机、船舶等新产品的设计中,大量采用线框模型来进行新产品的构思和初步结构设计,待设计方案确定后,再在线框模型基础上进行曲面或实体造型,完成最终的产品结构详细设计。

1.3.2 曲面建模

曲面造型(surface modeling)是计算机辅助几何设计和计算机图形学的一项重要内容,它起源于汽车、飞机、船舶、叶轮等的外形加工工艺。曲面造型当前已形成以有理B样条曲面参数化特征设计和隐式代数曲面表示这两类方法为主体,以插值、拟合、逼近这三种方法为主要手段的几何理论体系。曲面建模包括直纹面、扫描曲面、蒙皮面、过渡曲面和边界曲面的建模等。

1.3.3 实体建模

实体模型在计算机内提供了对物体完整的几何和拓扑定义,可以直接进行三维设计,在一个完整的几何模型上实现零件的质量计算、有限元分析、数控加工编程和消隐立体图的生成等。随着实体模型领域内诸如特征、约束等概念的提出,几何实体造型的设计方法应用非常广泛。实体造型的表示方法主要有边界表示法(B-rep)、体素构造法(Constructive Solid Geometry, CSG)、八叉树表示法、欧拉操作法、射线表示法等。

第 2 章

三维建模方法

2.1 概述

三维建模简单来说就是从概念到模型，通常是指正向实体建模，这一过程利用绘图或建模等手段预先设计出产品原型，然后根据原型制造产品。随着计算机辅助设计技术的发展，通过三维设计软件利用虚拟三维空间构建出具有三维数据的模型已成为三维建模的主要方式。三维建模常用的软件包括 PTC Creo Parametric、UG NX、SolidWorks、CATIA 等。

目前，三维模型在各种不同的行业领域具有非常广泛的应用，工程行业将它们用于新产品设计、模拟仿真和加工制造等；医疗行业使用它们制作器官的精确模型；影视游戏产业将它们作为活动的人物、道具等视频游戏中的资源；建筑业将它们用来展示虚拟的建筑物或者场景等。

2.2 基于 PTC Creo Parametric 的三维建模方法

2.2.1 PTC Creo Parametric 简介及特点

Creo Parametric 是 Pro/E 软件新的版本，Pro/E 操作软件是美国参数技术公司（PTC）旗下的 CAD/CAM/CAE 一体化的三维软件。该软件以参数化著称，是参数化技术的最早应用者，在目前的三维造型软件领域中占有着重要地位。Pro/E 作为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准而得到业界的认可和推广，是现今主流的 CAD/CAM/CAE 软件之一，特别是在国内产品设计领域占据重要位置。

Creo Parametric 是一套功能强大的三维产品设计、开发软件，是 PTC 新的 3D 参数化建模系统。它利用了 Pro/Engineer、CoCreate 和 ProductView 中经过验证的技术，并提供了数以百计可提高设计效率和生产力的新功能，涉及零件设计、整机装配、模具开发、工业设计、加工制造、钣金件设计、铸造件设计、机构分析、有限元分析、产品数据库管理等功能。

Creo Parametric 保留了功能强大和可靠耐用的特点，它提供了极其丰富的 3D CAD、

CAID、CAM 和 CAE 集成功能，而且用户界面直观、可提高用户生产力。此外，Creo Parametric 中的许多新功能为用户提供了比以往更高的设计灵活性、效率和速度。到现在，它已经成为全世界最普及的三维 CAD/CAM 系统标准软件之一，被广泛应用于机械、模具、电子、家电、玩具、工业设计、汽车、航天等行业。其强大的功能使得产品开发时间大大缩短，产品开发流程得到了简化。全球已有近三万企业采用 Creo Parametric 软件系统，作为企业产品设计的标准软件。

2.2.2 PTC Creo Parametric 工作界面

以 Creo Parametric 3.0 为例，启动 Creo Parametric 3.0 应用程序以后，显示其浏览器界面，如图 2-1 所示。

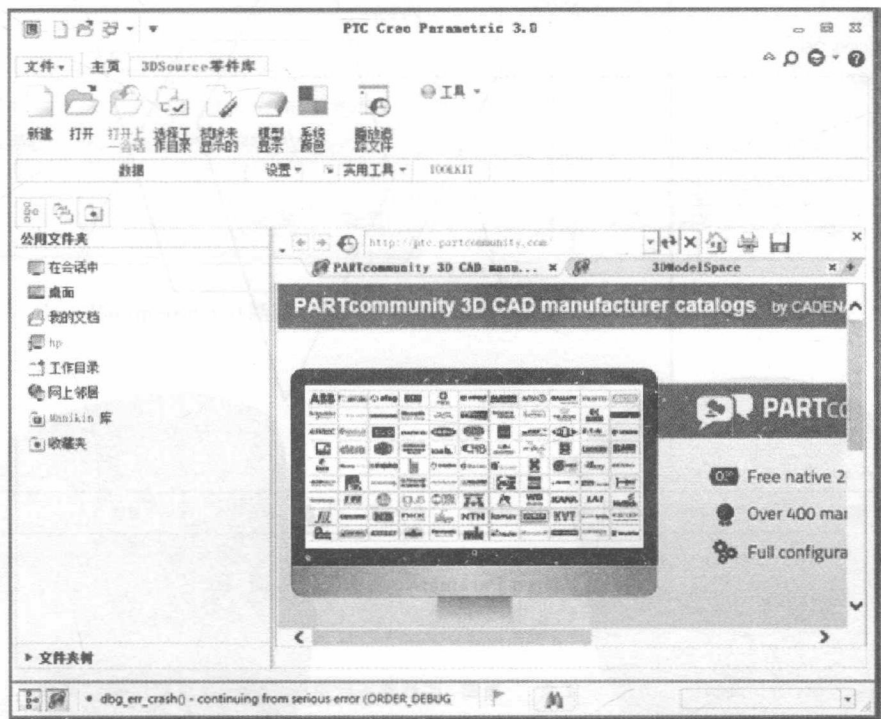


图 2-1 Creo Parametric 3.0 浏览器界面

新建或打开一个已有文件，显示其工作界面，如图 2-2 所示。

- ① 主窗口标题栏 列有当前的软件版本、工作模块和正在处理的文件名称。
- ② 快速访问工具栏 提供对常用按钮的快速访问。
- ③ 文件菜单 包括管理文件、准备、发送等命令。
- ④ 功能区 包括模型、分析、注释、渲染、工具、视图、柔性建模、应用程序等选项卡。
- ⑤ 导航区 包括模型树、文件导航器、个人收藏夹和层树，通过它们来显示零部件特征以方便用户的选择和辨识。
- ⑥ 图形窗口和图形工具栏 显示和编辑所建立特征的形状。
- ⑦ 浏览器窗口 提供对内部和外部网站的访问功能。
- ⑧ 状态栏 显示控制和消息区。
- ⑨ 命令操控板 是执行命令的载体，如图 2-3 为“草绘”操控板。

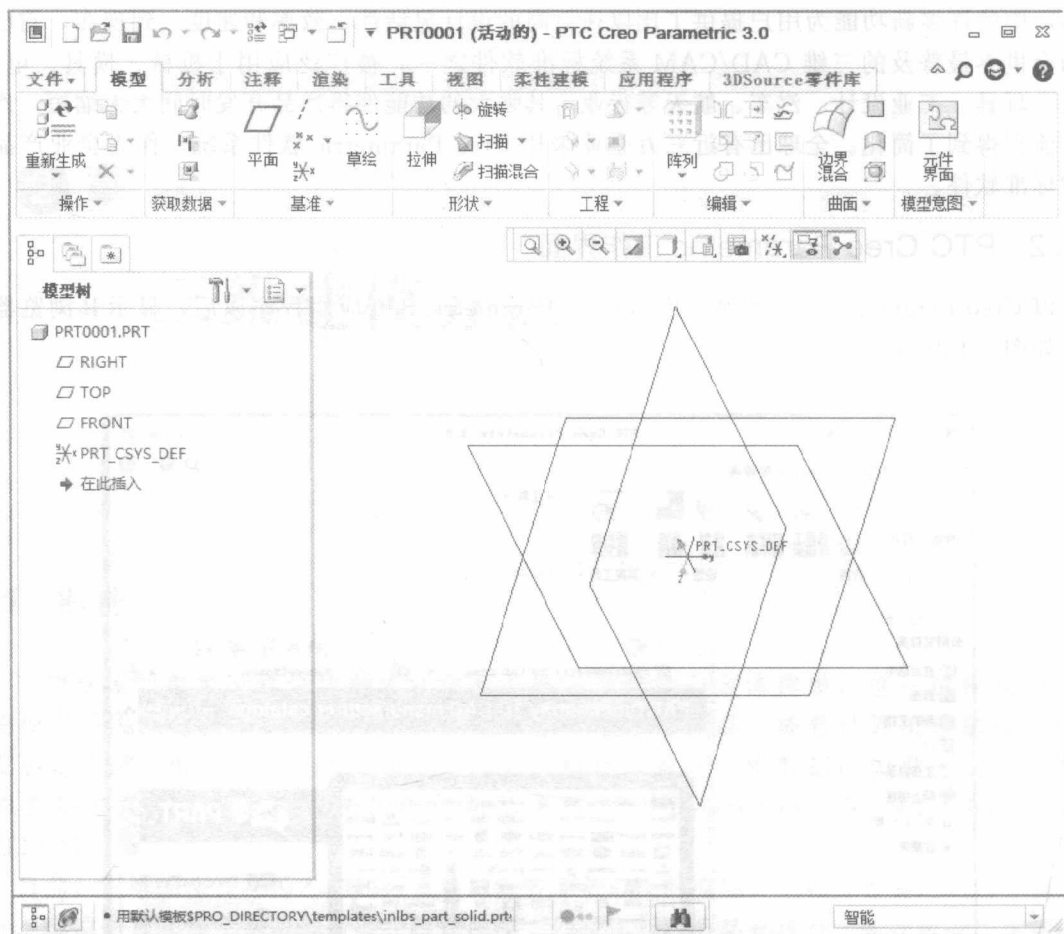


图 2-2 Creo Parametric 3.0 工作界面

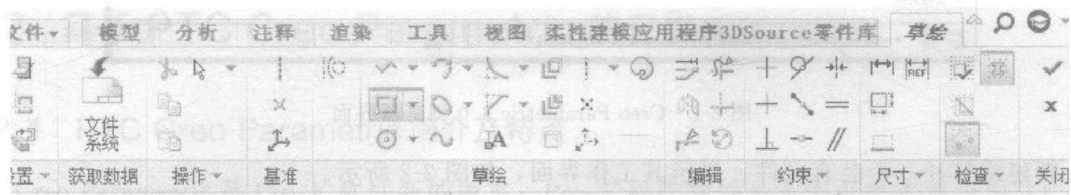


图 2-3 “草绘” 操控板

2.2.3 PTC Creo Parametric 快速上手

一般来说，建模常用工具为草绘、拉伸、倒角。本节以一杯子为例对 Creo Parametric 常用功能进行介绍。

- 打开 Creo Parametric 3.0，新建文件 beizi，如图 2-4 所示。
- 以 FRONT 基准面为草绘平面，绘制旋转特征，如图 2-5 所示。
- 对旋转特征进行旋转拉伸，如图 2-6 所示。
- 去除杯子中间实体，利用旋转拉伸去除材料，如图 2-7 所示。