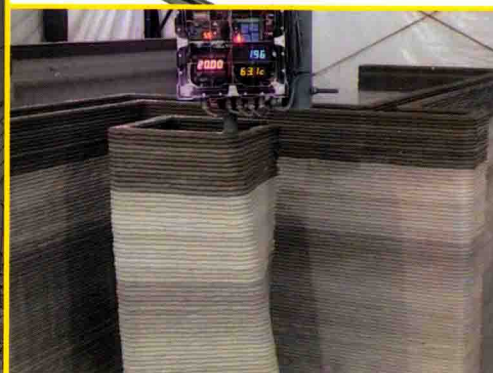
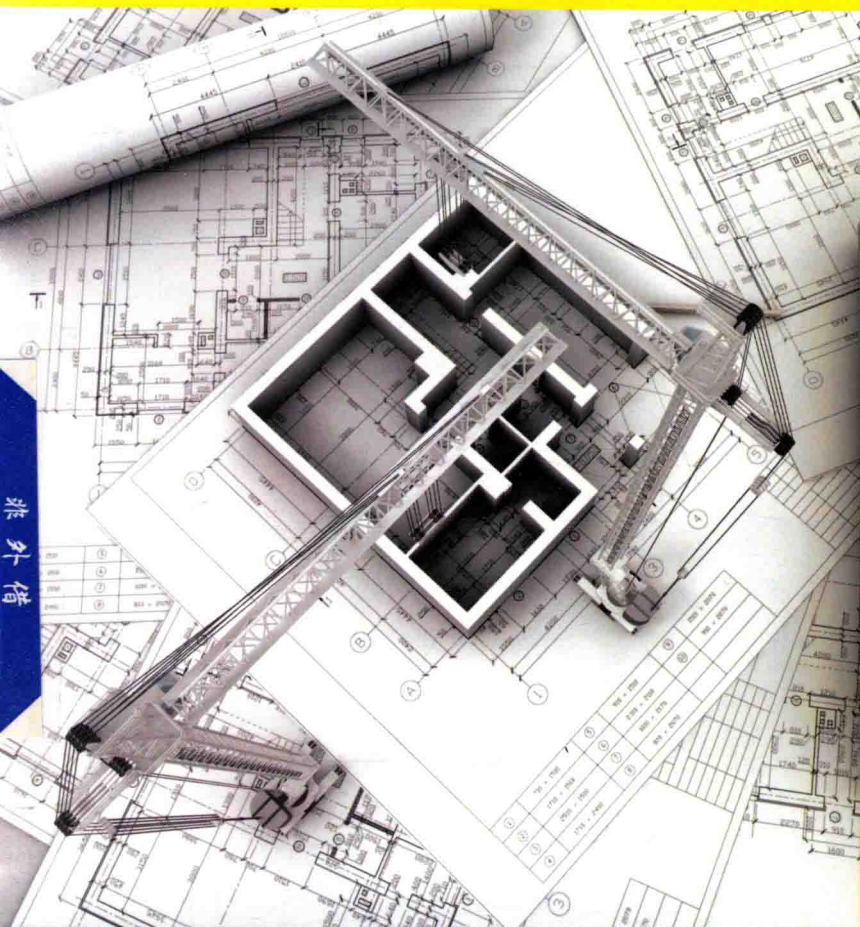


3 D P R I N T I N G A R C H I T E C T U R E

3D 打印建筑

张少军 李家阳 杨晓玲 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

张少军

图书在版编目(CIP)数据

3D PRINTING ARCHITECTURE

3D 打印建筑

张少军 李家阳 杨晓玲 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书用通俗的语言为读者系统地介绍了3D打印建筑的基础知识。全书共分11章,包括:3D打印技术与3D打印建筑的基础知识;3D打印和3D打印建筑中的成型技术;3D打印建筑与打印建筑的材料;3D建筑打印机;3D建筑打印机的软件及软件配置技术;3D模型设计与建模工具;3D打印建筑技术中的三维反求工程;BIM与3D打印建筑;建筑模具的制造;3D打印建筑技术在装配式建筑中的应用;3D打印建筑面临的问题和挑战等。

本书可作为建筑类院校电气工程与自动化、建筑电气与智能化、自动化、建筑工程技术、工程管理、建筑类相关专业的本科生、研究生的3D打印建筑技术教材,也可以作为建筑行业设计、施工和管理人员学习3D打印建筑技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

3D打印建筑 / 张少军, 李家阳, 杨晓玲编著. —北京: 中国电力出版社, 2018.4
ISBN 978-7-5198-1160-0

I. ①3… II. ①张… ②李… ③杨… III. ①立体印刷—印刷术—应用—模型(建筑)—制作
IV. ①TU205

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第228125号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 周 娟 杨淑玲(010-63412602)

责任校对: 常燕昆

装帧设计: 王红柳

责任印制: 杨晓东

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2018年4月第1版

印 次: 2018年4月北京第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 16开本

印 张: 15.75

字 数: 375千字

定 价: 56.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前 言

3D 打印建筑技术是一种有着极强生命力的新技术,该技术已经引起了业内人士的高度关注,人们非常希望能够更加深入地了解和学习这项新技术,但目前关于 3D 打印建筑技术的书籍很少。为了能够较深入展示 3D 打印建筑技术的基本理论、技术体系和工程实现方法,我们组织编写了此书。

本书既重视基本理论、技术体系和技术路线方法的讲述,同时也注重贴近实际工程应用。本书采用了一个合理的技术体系,基于 3D 打印技术引申出 3D 打印建筑技术,力求技术体系完整,涉及的技术链条完整。

要掌握好 3D 打印建筑的基本理论和技术体系,作者建议:读者应完整地读完本书的前 10 章,通过学习掌握 3D 打印建筑较完整的技术路线。

(1) 3D 打印的几种主要成型技术,尤其是要熟悉与 3D 打印建筑关联非常紧密的熔融沉积成型的工艺过程,熟悉熔融材料喷墨三维打印成型工艺过程。

(2) 较深入地了解 3D 打印建筑的基本概念、基本理论,同时不局限于将 3D 打印建筑理解为仅仅通过一个大型 3D 打印机一次性地将一幢房屋或楼宇整体地打印出来,而是能够从广义 3D 打印建筑的角度去理解和学习。

(3) 学习和掌握 3D 打印和 3D 打印建筑中的软件配置方法和使用部分常用、免费的 3D 建模软件、分层切片软件,注意区别一般 3D 打印和 3D 打印建筑中使用的软件有哪些不同,有哪些是相同的,哪些方面是需要进一步去开发的。

第 11 章是关于 3D 打印建筑未来发展一些有待商榷的观点部分,是提高认识的部分,初学者可稍加浏览就行。

全书共分 11 章,第 1 章介绍 3D 打印技术与 3D 打印建筑的基础知识。第 2 章讲述 3D 打印和 3D 打印建筑中的成型技术。第 3 章介绍了国内外 3D 打印建筑与打印建筑的材料。第 4 章专门讲解了 3D 建筑打印机。第 5 章介绍了 3D 建筑打印机的软件及软件配置技术,重点讲了上位机控制、切片分层软件和控制板固件;3D 建筑打印机使用软件及开发。第 6 章讲述了怎样进行 3D 建模,如何使用常用的建模工具;介绍了几款常用的 3D 打印用到的建模软件。第 7 章介绍了 3D 打印建筑技术中的三维反求工程。第 8 章讲述了 BIM 与 3D 打印建筑的关系以及 BIM 在 3D 打印建筑技术中的应用。第 9 章的内容是关于建筑模具的制造,以及怎样应用 3D 打印建造建筑模块及构件模具,提高建筑工程进度和生产效率。第 10 章介绍 3D 打印建筑技术在装配式建筑中的应用。作者在最后的第 11 章中,对一些关于 3D 打印建筑技术有争议的一些看法和认识提出了自己的观点,并重申:3D 打印建筑技术有着非常美好的未来。

本书可作为建筑类院校电气工程与自动化、建筑电气与智能化、自动化、建筑工程技术、工程管理、建筑等相关专业的大学生、研究生的教材,也可以作为建筑行业设计、施工和管理人员的参考书。

本书由北京建筑大学电信学院的张少军教授、北京市智能建筑协会秘书长李家阳和北京联合大学的杨晓玲副教授共同撰写。由于编者学识有限，加之时间仓促，不足之处恳请广大读者批评指正。

作者能够向从事 3D 打印建筑的教师、研究生和技术人员提出建议和提供一些研究课题，共同推进该技术的深入发展及提高工程应用水平。

作者也希望和进入 3D 打印建筑技术领域发展的企业一起合作开发新型 3D 建筑打印机、快速新型模具（使用 3D 打印技术开发建筑模块及构件模具）、新型 3D 建筑打印材料、3D 打印建筑同模块化建筑、装配式建筑、钢结构建筑结合的应用技术、3D 打印建筑同逆向工程方法结合形成的应用技术以及该领域的软件技术开发等，在多方面进行产学研合作。作者邮箱：zhangshaojun6776@163.com。

编著者

2018 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 3D 打印技术与 3D 打印建筑的基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 3D 打印技术	1
1.3 增材制造过程中的 CAD 数字模型和精细控制	2
1.3.1 增材制造过程中的 CAD 数字模型	2
1.3.2 增材制造过程中的精细控制	3
1.4 3D 打印的应用领域和优势	4
1.4.1 3D 打印的应用领域	4
1.4.2 3D 打印的优势	5
1.5 3D 打印中使用的打印原材料	6
1.5.1 ABS 树脂	6
1.5.2 聚乳酸	7
1.5.3 聚乙烯醇	8
1.5.4 3D 打印塑料	8
1.5.5 光敏树脂	9
1.5.6 Laywoo-D3 材料	9
1.5.7 聚碳酸酯	10
1.5.8 大理石粉	11
1.5.9 金属材料的 3D 打印	11
1.5.10 材料的选择	13
1.6 3D 打印建筑使用的打印材料	13
1.6.1 建筑模型的 3D 打印材料	13
1.6.2 3D 打印建筑的基础	14
第 2 章 3D 打印和 3D 打印建筑中的成型技术	18
2.1 3D 打印技术与离散-堆叠成型	18
2.2 光敏树脂固化成型技术	18
2.2.1 光敏树脂固化成型的原理	18
2.2.2 光敏树脂固化成型工艺的优缺点	19
2.3 熔融沉积成型	20
2.3.1 熔融沉积成型原理	20

2.3.2	熔融沉积成型使用的材料	21
2.3.3	熔融沉积成型技术的优缺点	22
2.4	选择性激光烧结成型技术	22
2.4.1	选择性激光烧结成型的工艺过程	22
2.4.2	选择性激光烧结成型使用的材料	24
2.4.3	金属粉末烧结成型中的一些工艺措施和改进方法	25
2.4.4	选择性激光烧结工艺的特点	25
2.4.5	选择性激光烧结 3D 打印机的硬件	25
2.5	三维打印成型	26
2.5.1	三维打印成型的原理和工艺特点	26
2.5.2	3DP 技术的应用实例	28
2.5.3	熔融材料喷墨三维打印成型	28
2.6	激光近净成型	29
2.6.1	激光近净成型的原理	29
2.6.2	激光近净成型的工艺特点	30
2.7	电子束熔丝沉积成型和 3D 打印成型技术分类	30
2.7.1	电子束熔丝沉积成型	30
2.7.2	3D 打印成型技术分类	31
第 3 章	3D 打印建筑与打印建筑的材料	33
3.1	3D 打印建筑在国内外的的发展及应用现状	33
3.1.1	3D 打印建筑的起源与国外的应用情况	33
3.1.2	3D 打印建筑在国内的发展和现状	36
3.2	3D 打印建筑技术	41
3.2.1	3D 打印建筑的内容	41
3.2.2	3D 打印建筑设备及原理	41
3.2.3	打印头喷嘴的位置控制方式和喷头的流量控制	46
3.3	打印建筑的材料	49
3.3.1	打印建筑使用材料的要求	49
3.3.2	几种新开发的 3D 建筑打印材料	51
3.3.3	再造石材料	52
3.3.4	混凝土材料	53
3.3.5	砂石材料	54
3.3.6	玻璃材料	55
3.4	使用混凝土打印建筑	56
3.4.1	美国、荷兰的 3D 打印混凝土建筑项目	56
3.4.2	使用 3D 打印混凝土打印房屋	57
3.4.3	搭积木建造的装配式建筑	61
3.5	3D 建筑打印机结构的多样性	62

3.5.1	框架式结构	63
3.5.2	吊车臂式结构	63
3.6	3D 打印建筑低碳环保	65
3.6.1	3D 打印建筑不产生扬尘和建筑垃圾	65
3.6.2	3D 打印建筑的节能和抗震	66
3.7	3D 打印建筑的安全性	66
3.7.1	3D 打印建造房屋的安全性	66
3.7.2	对传统建造房屋的替代	67
第 4 章	3D 建筑打印机	69
4.1	3D 建筑打印机的原理及应用	69
4.1.1	3D 建筑打印机主要工作原理和成型工艺	69
4.1.2	与 3D 建筑打印机成型工艺相近的其他 3D 打印机	70
4.2	熔融沉积成型 3D 打印机的硬件组成、结构与工作原理	72
4.2.1	熔融沉积成型 3D 打印机的硬件组成	72
4.2.2	熔融沉积成型 3D 打印机的结构与工作原理	80
4.3	3D 建筑打印机的结构和工作原理	83
4.3.1	3D 建筑打印机的定义及分类	83
4.3.2	3D 建筑打印机与 FDM 3D 打印机成型工艺的差异	84
4.3.3	3D 建筑打印机的结构及打印工艺	85
4.3.4	打印建造小型房屋的案例	92
4.4	喷涂型 3D 建筑打印机	94
4.4.1	什么是喷涂型 3D 建筑打印机	94
4.4.2	喷涂型 3D 建筑打印机的技术基础	94
4.5	小型 3D 建筑打印机的打印头喷口流量控制方法	100
4.5.1	小型 3D 建筑打印机的打印头喷口流量控制方案	100
4.5.2	简化结构与控制方式	101
第 5 章	3D 建筑打印机的软件及软件配置技术	103
5.1	3D 打印机使用软件类型	103
5.1.1	3D 打印的关键步骤	103
5.1.2	操作 3D 打印机必须使用的三类软件	104
5.2	上位机控制软件 Repetier-Host 和 Pronterface	105
5.2.1	上位机控制软件 Repetier-Host	105
5.2.2	上位机控制软件 Pronterface	107
5.3	切片软件 Slic3r 及设置	109
5.3.1	Slic3r 简介	109
5.3.2	Slic3r 软件的主界面介绍	110
5.3.3	Slic3r 软件设置	110

5.4	Cura 切片软件的使用及设置	114
5.4.1	Cura 软件的安装	114
5.4.2	参数的中文释义	115
5.4.3	载入模型后的操作	115
5.4.4	切片前期配置	116
5.4.5	切片设置(基础)	116
5.5	主控板固件的设置	117
5.5.1	固件和 G 代码命令	117
5.5.2	常用的主控板固件及特点	119
5.5.3	Marlin 固件的设置	120
5.6	3D 建筑打印机的软件及软件开发	128
5.6.1	将 3D 打印机的软件技术应用于 3D 建筑打印机	129
5.6.2	3D 建筑打印机使用软件及其配置	129
5.6.3	3D 建筑打印机软件技术的开发	132
第 6 章	3D 模型设计与建模工具	133
6.1	3D 打印建模和常用的 3D 建模软件	133
6.1.1	3D 打印建模	133
6.1.2	常用的 3D 建模软件应用及注意事项	134
6.2	3ds Max 软件建模基础	135
6.2.1	3ds Max 中的基本几何体和扩展几何体	135
6.2.2	一个基本几何体建模举例	136
6.3	犀牛软件建模基础	138
6.3.1	犀牛软件的功能	138
6.3.2	犀牛软件的界面及部分工具	138
6.3.3	犀牛软件简单建模举例	141
6.4	结构设计软件 SolidWorks 建模	143
6.4.1	SolidWorks 软件简介和建模基础知识	144
6.4.2	SolidWorks 建模的基础知识	144
6.5	用 Tinkercad 创建三维模型	149
6.5.1	Tinkercad 软件基本情况	150
6.5.2	Tinkercad 软件操作	151
6.5.3	新版本的 Tinkercad	156
第 7 章	3D 打印建筑技术中的三维反求工程	159
7.1	三维反求工程的原理和应用	159
7.1.1	三维反求工程的概念和原理	159
7.1.2	三维反求工程的应用	161
7.2	三维反求工程中的数据采集	165

7.2.1	接触式和非接触式测量	165
7.2.2	三坐标测量仪法	166
7.2.3	使用三维激光扫描仪的数据采集	167
7.2.4	对古建筑和古人类遗址进行三维数据建档	171
7.3	反求工程中的数据处理技术	173
7.3.1	反求工程中的数据处理	173
7.3.2	建筑物及构件反求建模的数据处理和加工精度检查	175
7.3.3	数字城市建设中的数据处理技术	176
7.4	使用 123D Catch 的反求建模	177
7.4.1	123D Catch 的注册	177
7.4.2	123D Catch 的工作过程	179
第 8 章	BIM 与 3D 打印建筑	180
8.1	BIM 技术及其在建筑业中的应用	180
8.1.1	BIM 技术	180
8.1.2	使用 BIM 技术进行碰撞检测	181
8.1.3	BIM 模型的架构	185
8.1.4	BIM 技术在设施全生命周期的应用	186
8.1.5	BIM 技术的应用	187
8.2	BIM 与 3D 打印建筑的结合及其在 3D 打印建筑中的应用	188
8.2.1	3D 打印建筑与 BIM 的结合	188
8.2.2	BIM 与广义的 3D 打印建筑	189
8.2.3	BIM 技术在 3D 打印建筑中的预制构件装配中的应用	191
8.2.4	三维管线综合协调	191
8.2.5	采用钢结构的 3D 打印建筑中 BIM 的应用	192
8.3	BIM 应用软件	192
8.3.1	BIM 应用软件的格式、兼容性和 BIM 服务器	192
8.3.2	BIM 应用的相关软件	193
8.3.3	BIM 应用中借助 3D 扫描技术对建筑工程进行记录、检验和阶段验收	196
8.4	BIM 应用举例	196
8.4.1	117 大厦的 BIM 应用概述	196
8.4.2	BIM 集成应用为项目建设带来的成果	198
8.5	BIM 在 3D 打印建筑中的应用	198
8.5.1	3D 打印建筑中 BIM 应用特点和内容	198
8.5.2	三维管线综合协调和碰撞检测与软件使用	199
8.5.3	3D 打印建筑中 BIM 模型在线应用方式和 BIM 软件使用	199
第 9 章	建筑模具的制造	201
9.1	生产建筑预制构件的模具	201

9.1.1	生产较大型混凝土建筑预制构件的模具	201
9.1.2	使用 3D 打印建造模具生产装饰性建筑模块及构件	203
9.2	3D 打印建造建筑模块及构件模具的优势与构件模具	207
9.2.1	3D 打印建造建筑模块及构件模具的优势	207
9.2.2	3D 打印快速建造建筑模块及构件模具	207
9.3	3D 打印生产模具与传统模具制造技术的互补	209
9.3.1	3D 打印生产模具的现状	209
9.3.2	3D 打印模具与传统模具生产的互补	209
第 10 章	3D 打印建筑技术在装配式建筑中的应用	211
10.1	装配式建筑和模块化建筑	211
10.1.1	预制装配式建筑	211
10.1.2	模块化建筑	216
10.2	3D 打印建筑技术与钢结构建筑	218
10.2.1	钢结构建筑的优势	218
10.2.2	常用钢结构建筑的结构体系	218
10.2.3	3D 打印建筑和钢结构建筑的结合	220
10.3	3D 打印建筑技术与模块化建房	221
10.3.1	模块化建筑与 3D 打印建筑的关系	221
10.3.2	模块化建筑技术与 3D 打印建筑技术的结合	222
10.4	3D 打印建筑技术在装配式建筑中的深入应用及规范标准	223
10.4.1	装配式建筑的发展与标准	224
10.4.2	钢承重柱间的填充墙体打印	224
10.4.3	带保温层的打印墙体	225
10.4.4	有保温层的配筋墙体打印	226
10.4.5	喷涂型 3D 建筑打印机打印墙体	227
10.4.6	没有保温层的墙体打印建造	227
10.4.7	3D 打印的内外装一体墙	228
10.4.8	各种功能装饰性构件和功能构件的打印建造	228
10.4.9	3D 打印建筑的柱、梁等承重部件	229
10.4.10	设计和验收规范	229
10.4.11	3D 打印工艺与现浇及预制的结合	230
第 11 章	3D 打印建筑面临的问题和挑战	231
11.1	3D 打印建筑 and 传统建筑相互帮扶	231
11.1.1	关于 3D 打印建筑认识的误区	231
11.1.2	3D 打印建筑技术和传统技术互相帮扶	232
11.2	3D 打印建筑技术存在的不足	232
11.3	深入发展 3D 打印建筑的基本思路	234

- 11.3.1 基于 3D 打印技术的范畴深入发展.....234
 - 11.3.2 结合相关新技术突破 3D 打印技术的范畴进行发展.....234
 - 11.3.3 融合新技术的绿色建筑.....235
- 11.4 政策的扶持和相关技术标准规范的建立.....235
 - 11.4.1 国家政策的扶持.....235
 - 11.4.2 技术标准和规范的建立.....236
- 11.5 成本核算、使用寿命及设备材料.....236
 - 11.5.1 成本核算和使用寿命.....236
 - 11.5.2 打印装备和打印材料.....237
- 参考文献.....238

第1章 3D 打印技术与3D 打印建筑的基础知识

1.1 概述

近年来,3D 打印技术得到了快速发展,该技术可以使用各种不同的原材料和相应的加工工艺生产消费电子产品、汽车部件、航天航空设备、医疗产品、军工产品,直接应用于房屋建筑的设计和施工、艺术制品生产设计,能够进行大量不同领域具有复杂结构的新产品设计。而且越是结构复杂的产品,其制造速度的提高和生产成本的降低幅度越大。

随着工艺、材料和装备的日益成熟,3D 打印技术的应用范围不断扩大,从制造设备向生活产品发展。3D 打印可以直接制造大量不同功能的零件和生活物品,如精美电子产品的外壳、高性能金属零件、金属结构件、高强度塑料零件、劳动工具、橡胶制件、汽车及航空用高温陶瓷部件及各类金属模具,直接生产房屋建造中各种功能砌块、建筑模具,甚至能够直接将整幢楼宇或别墅打印出来。尤其是在传统模具行业,模具制造费时、费力,成本很高,开发结构复杂的模具相当困难,开发费用也很高,3D 打印可以改变这种情况。3D 打印还可以制作食品、服装、首饰等日用产品。

对于直接生产高精度的金属零件,早在二十多年前人们就已经使用一种激光选区熔化 3D 打印设备生产出可成型接近全致密的精细金属零件和各种模具,其性能可与同质锻件相媲美。人们在 3D 打印中还使用电子束熔化、激光成型等技术面向航天航空、武器装备、汽车/模具及生物医疗等高端制造领域,直接成型复杂和高性能金属零部件,解决一些传统制造工艺难以加工甚至是无法加工的制造难题。

业界普遍认为 3D 打印技术通过全新的制造产品方式来改变未来生产与生活模式,与互联网一样能够深刻地影响和改变人类的生活方式。对于一个国家来讲,3D 打印技术的应用普及在一定程度上标志着这个国家的创新能力水平。

1.2 3D 打印技术

3D 打印也称为增材制造,制造过程中应用已经设计好的三维 CAD 数学模型,由计算机或微处理器控制一台 3D 打印机快速而精确地层层堆叠出具有较复杂结构的零件、不同成品的部件或完整的成品物件。3D 打印能够不受传统工艺加工难或无法加工的限制,大大缩短了具有复杂结构产成品的加工周期。

增材制造与通过雕刻过程制造一件物品正好相反。河北石头记雕塑有限公司在继承我国优秀传统雕刻艺术的基础上,学习吸取西洋雕刻和现代雕塑的各种技法,通过刻刀将不同区域的石材材质切削去除,换句话讲就是减材加工,得到一幅精美的人物石材浮雕如图 1-1 所



图 1-1 通过雕刻（减材）加工人物石材浮雕

示。通俗地讲，减材制造就是将一块材料一点一点切削（或用其他方法，如刻蚀等）加工而得到制成品。减材制造除了可以使用刀具去除毛坯中不需要的材料，还可以使用或电化学方法进行材料去除，余下的部分就是制成品。

增材制造是在一个空白的三维空间区域中，使用特定的熔融状材料进行一层又一层的顺序堆叠，并且每次堆叠层都受到计算机或微处理器的精确控制，精细地控制喷吐熔融材料的数量、喷吐方向、喷吐形状，最后得到一个三维成品物件，可以是一个机械零件，也可以是一个杯子或其他三维物品。通过增材制造加

工机械零件的情况如图 1-2 所示，从图中看到：如果使用传统机床切削的工艺与方法加工这样的机械零件是很困难的，通过 3D 打印即增材加工，生产这样的机械零件是较为简单易行的。增材制造就是使用可塑性的材料一层一层堆叠积累加工成制成品。进行材料堆叠的过程完全受控于微处理器或计算机，是将计算机或微处理器中的数学模型在空间上实现出来。

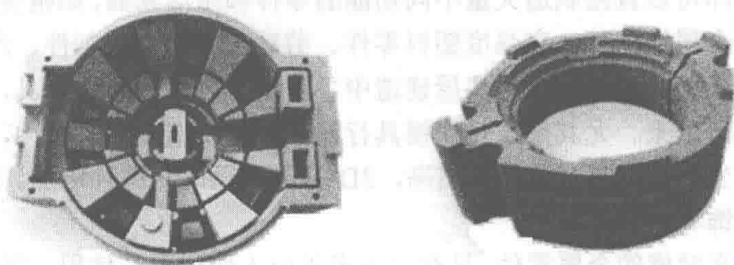


图 1-2 增材制造（3D 打印）加工机械零件

相对于普通打印技术，3D 打印（增材制造）是一种三维物件快速成型制造技术。增材制造技术是依据三维 CAD 设计数据，采用离散材料逐层堆叠累加制造三维物件的技术。相对于传统的材料去除（如切削等）技术，增材制造是一种自下而上材料累加的制造工艺。增材制造中的离散材料可以是液体状、粉末状、丝状、片状、板状和块状的加工介质材料。

传统的产品制造技术除了上述的减材制造外，还有材料成型制造方式，该方式也称为等材制造技术，铸造、锻压、冲压等均属于此种方法，主要是指利用模具控形，将液体或固体材料变为所需结构的三维物件及产品。3D 打印加入制造技术行列极大地扩展了产品制造业的内涵和边界，从此人们能够在更低的成本下，更快地制造结构和功能更为复杂的技术产品。

1.3 增材制造过程中的 CAD 数字模型和精细控制

1.3.1 增材制造过程中的 CAD 数字模型

增材制造的过程是依据三维 CAD 数据将可塑性材料连续逐层堆叠累积的过程，直到获得三维制成品。这里的 CAD 是指：计算机辅助设计（Computer Aided Design），三维 CAD 数

据是指：制成品的三维 CAD 模型。我们知道：二维空间是一个平面，任何有序的一对数在给定的平面中都表示为一个点，如 $(2, 3.5)$ 表示平面中的 A 点，如图 1-3 所示。平面中的一条曲线表示一个方程 $f(x, y) = 0$ ，在图 1-4 中，曲线 ABC 、 AB_1C 分别对应曲线 $f_1(x, y) = 0$ 、 $f_2(x, y) = 0$ 。

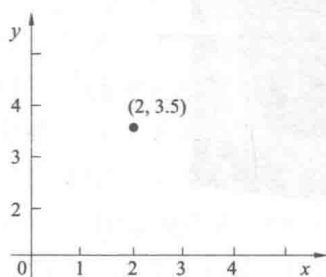


图 1-3 平面中的点

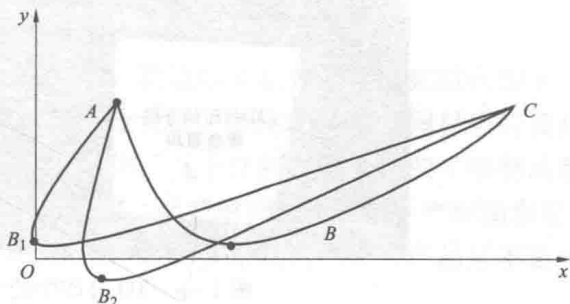


图 1-4 平面中的曲线

这些平面中的曲线就是数学模型。在三维空间中，一个给定的三维形状的物体一定有一个三元方程 $f(x, y, z) = 0$ 与其对应，这个三元方程就是三维数学模型。当然在 3D 打印中的三维 CAD 数学模型的数学表达式尽管可能非常复杂，但一定能够在计算机中用适当形式的数学模型给以表示。图 1-5 中的三维机械零件和一座房屋在给定的三维坐标系中都有确定的 CAD 数学模型，数学模型有连续和离散模型之分。

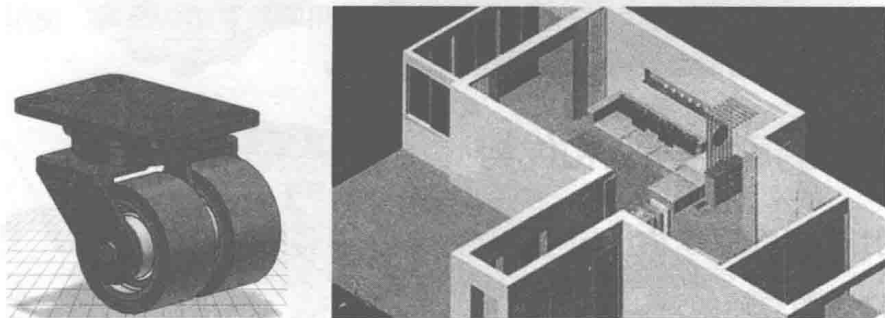


图 1-5 三维机械零件和一座房屋

1.3.2 增材制造过程中的精细控制

3D 打印中，以数字设计为基础，将材料（包括液体、粉材、线材等）进行分层堆叠累积成为三维制成品。增材制造是数字化技术、新材料技术、光学处理等综合加工技术等多学科融合发展的产物。3D 打印过程分为两个阶段：第一阶段是数据处理过程，利用三维计算机辅助设计 CAD 模型，将三维 CAD 图形分割切成数量很大的薄层，在表示高度的 z 变量递增或递减的过程中（是离散一维变量的递增和递减变化过程），将三维 CAD 模型数据分为对应的二维数据组；第二个阶段是精细的控制制作过程，每一次有序地依据分层的二维数据，计算机或微处理器驱动打印设备（喷头）对分层的薄片进行堆叠累积，所有的分层薄片按序叠加完毕后，就构成了三维构件的制成品，实现了从二维薄层至三维实体制品的制造过程。3D 打印实质上是依据给定的三维 CAD 模型数据对大量的切分薄层进行精细的控制堆叠累积，在 3D 打印建筑中，制成品是房屋，房屋的分层堆叠累积制作如图 1-6 所示。大量的三维制成品都是用这种分层堆叠累积制作出来的。



图 1-6 3D 打印中的分层堆叠累积

增材制造中的分层堆叠累积中的精细控制中，三维 CAD 模型的三维数据是被降维成为二维数据后来实现的。在三维 CAD 数据模型 $f(x,y,z)=0$ 中，将 z 变量在给定高度值的情况下设定一个层数，在确定的层数 n 层上，三维数据 $f(x,y,z_n)_n=0$ 变为二维数据 $f(x,y)_n=0$ ，完成 n 层的打印后，在进行第 $n+1$ 层的打印，对应的有二维数据组阵列 $f(x,y)_{n+1}=0$ ，如此下去，由二维结构累加为三维结构，从而得到三维制成品。

实现分层堆叠累积的材料材质可以是多种多样的，实现的物理方法也是多种多样的，例如：采用光化学反应的原理，使用光固化成型方法；采用喷胶黏结的原理，使用三维喷射成型方法；利用金属熔焊的原理使用金属熔覆成型方法等。

1.4 3D 打印的应用领域和优势

与传统的打印技术相比，3D 打印技术具有很多颇具特色的优势。

1.4.1 3D 打印的应用领域

3D 打印属于快速成型制造技术，制造过程采用分层加工、叠加成型，逐层增加材料来生成三维制成品。3D 打印可以制作任意复杂几何形状的三维结构制成品，不受传统加工方法的限制，尤其是很复杂的结构，3D 打印和传统方法相比具有很高的生产效率。作为一种备受关注的新技术，其应用领域，涵盖工业、农业、科研、医疗、消费电子、航空航天、汽车、政务和军事、建筑等，如图 1-7 所示。

3D 打印的应用分布情况如图 1-8 所示。

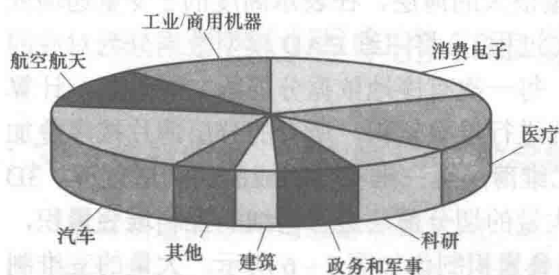


图 1-7 3D 打印的应用领域

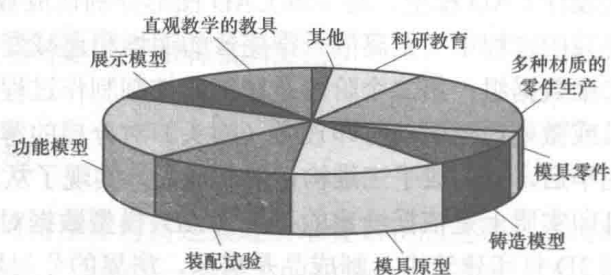


图 1-8 3D 打印的应用分布

1.4.2 3D 打印的优势

已经风靡全球并有着巨大潜力的 3D 打印技术相对传统的技术有着很大的优势,尤其是在工业设计、数码产品开模、新型建筑开发等许多方面。

1. 设计空间大大拓展

传统制造技术能够制造的产品如果形状很复杂,制造成本会很高,比如机床加工一些复杂的机件,铸造模型铸造一些形状复杂的铸件、工业设计、制造中许多不同材质的模具开发都很复杂,而 3D 打印不受传统设计制造技术的限制,几乎任何复杂结构的三维物品都能设计与打印实现,并且实现成本要比传统技术要低得多、耗费时间短得多、生产制造容易得多。在如图 1-9 所示复杂结构的三维构件制造中,使用传统的技术制造出此类产品是不是不可思议的,但 3D 打印技术却可以轻松地实现。

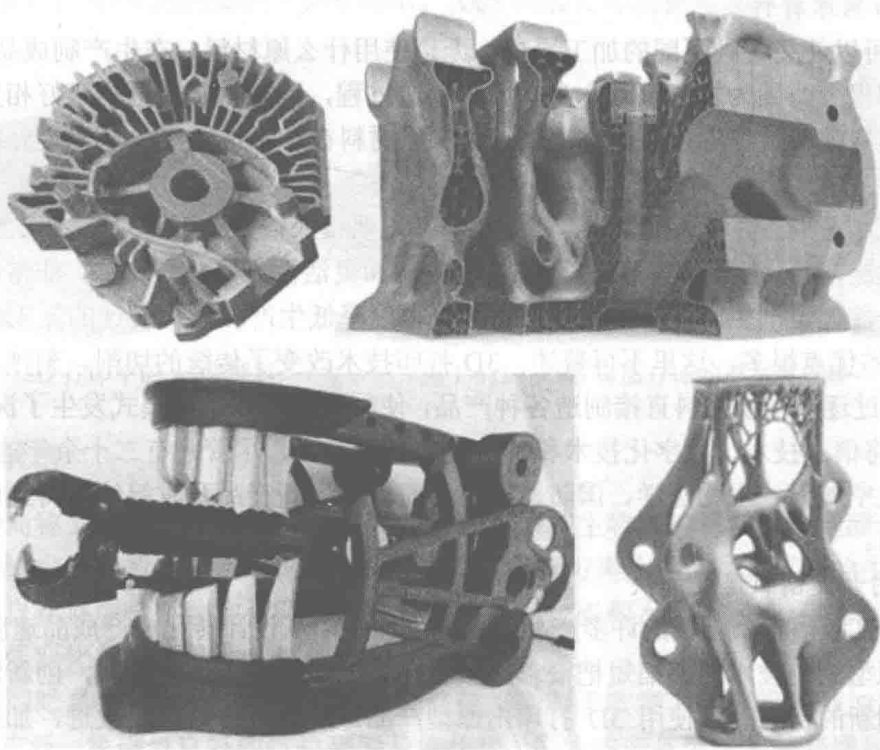


图 1-9 复杂结构的三维构件

与传统机加工和模具成型等制造工艺相比,3D 打印技术将三维实体加工通过数字化转变二维平面加工序列过程,大幅度降低了制造工艺的复杂程度。只要在计算机上设计出需要制造物品的数学模型,就可以快速地将设计转变为物理的三维制成品。制造过程大为简化,这是传统加工远不能与之抗衡的。利用 3D 打印技术可制造出传统加工技术很难加工,甚至是无法加工的复杂三维构件,如复杂内流道、内部镂空结构和具有内部精细结构的构件。

2. 可以精确地复制大量的实体物品并且复制比例任意调节

我们知道,数字音乐文件可以大量复制而声音的音质却能得到很好的保持,如同数字音乐文件一样,3D 打印也能高质量低成本地复制大量不同的实体物品,通过数字扫描,对实体物品进行数字化处理,得到实体物品的数学模型,即创造出实体物品的数字化副本,进而大