



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



“中国制造2025”
出版工程

聚合物3D打印 与3D复印技术

杨卫民 鉴冉冉 著

3D

化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



“中国制造2025”
出版工程

聚合物3D打印 与3D复印技术

杨卫民 鉴冉冉 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书创新提出聚合物 3D 复印技术的概念, 类比介绍了聚合物 3D 打印与 3D 复印两种技术, 并详细阐述了聚合物 3D 复印技术的核心原理及工艺, 聚合物 3D 复印机的组成、基本参数、结构设计, 聚合物 3D 复印制品的精度控制方法、缺陷的产生机理及解决办法, 此外还对聚合物 3D 复印技术的发展趋势进行了讨论。

本书取材传统与新型兼备, 内容新颖, 注重理论性与实用性, 在篇章结构上兼顾学术参考和工业应用两方面的需要, 较系统地反映了聚合物 3D 打印及 3D 复印技术的内容和应用, 可供从事聚合物加工的工程技术人员、研发人员和相关专业师生阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

聚合物 3D 打印与 3D 复印技术/杨卫民, 鉴冉冉著. —北京: 化学工业出版社, 2018. 3

“中国制造 2025” 出版工程

ISBN 978-7-122-31307-2

I. ①聚… II. ①杨…②鉴… 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 002265 号

责任编辑: 曾 越 张兴辉

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 边 涛

装帧设计: 尹琳琳

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: 三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 17 $\frac{1}{2}$ 字数 330 千字 2018 年 10 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: 89.00 元

版权所有 违者必究

序

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。近十年来，我国制造业持续快速发展，综合实力不断增强，国际地位得到大幅提升，已成为世界制造业规模最大的国家。但我国仍处于工业化进程中，大而不强的问题突出，与先进国家相比还有较大差距。为解决制造业大而不强、自主创新能力弱、关键核心技术与高端装备对外依存度高等制约我国发展的问题，国务院于2015年5月8日发布了“中国制造2025”国家规划。随后，工信部发布了“中国制造2025”规划，提出了我国制造业“三步走”的强国发展战略及2025年的奋斗目标、指导方针和战略路线，制定了九大战略任务、十大重点发展领域。2016年8月19日，工信部、发展改革委、科技部、财政部四部委联合发布了“中国制造2025”制造业创新中心、工业强基、绿色制造、智能制造和高端装备创新五大工程实施指南。

为了响应党中央、国务院做出的建设制造强国的重大战略部署，各地政府、企业、科研部门都在进行积极的探索和部署。加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，推动我国制造模式从“中国制造”向“中国智造”转变，加快实现我国制造业由大变强，正成为我们新的历史使命。当前，信息革命进程持续快速演进，物联网、云计算、大数据、人工智能等技术广泛渗透于经济社会各个领域，信息经济繁荣程度成为国家实力的重要标志。增材制造（3D打印）、机器人与智能制造、控制和信息化技术、人工智能等领域技术不断取得重大突破，推动传统工业体系分化变革，并将重塑制造业国际分工格局。制造技术与互联网等信息技术融合发展，成为新一轮科技革命和产业变革的重大趋势和主要特征。在这种中国制造业大发展、大变革背景之下，化学工业出版社主动顺应技术和产业发展趋势，组织出版《“中国制造2025”出版工程》丛书可谓勇于引领、恰逢其时。

《“中国制造2025”出版工程》丛书是紧紧围绕国务院发布的实施制造强国战略的第一个十年的行动纲领——“中国制造2025”的一套高水平、原创性强的学术专著。丛书立足智能制造及装备、控制及信息技术两大领域，涵盖了物联网、大数

据、3D 打印、机器人、智能装备、工业网络安全、知识自动化、人工智能等一系列的核心技术。丛书的选题策划紧密结合“中国制造 2025”规划及 11 个配套实施指南、行动计划或专项规划，每个分册针对各个领域的一些核心技术组织内容，集中体现了国内制造业领域的技术发展成果，旨在加强先进技术的研发、推广和应用，为“中国制造 2025”行动纲领的落地生根提供了有针对性的方向引导和系统性的技术参考。

这套书集中体现以下几大特点：

首先，丛书内容都力求原创，以网络化、智能化技术为核心，汇集了许多前沿科技，反映了国内外最新的一些技术成果，尤其国内的相关原创性科技成果得到了体现。这些图书中，包含了获得国家与省部级诸多科技奖励的许多新技术，图书的出版对新技术的推广应用很有帮助！这些内容不仅为技术人员解决实际问题，也为研究提供新方向、拓展新思路。

其次，丛书各分册在介绍相应专业领域的新技术、新理论和新方法的同时，优先介绍有应用前景的新技术及其推广应用的范例，以促进优秀科研成果向产业的转化。

丛书由我国控制工程专家孙优贤院士牵头并担任编委会主任，吴澄、王天然、郑南宁等多位院士参与策划组织工作，众多长江学者、杰青、优青等中青年学者参与具体的编写工作，具有较高的学术水平与编写质量。

相信本套丛书的出版对推动“中国制造 2025”国家重要战略规划的实施具有积极的意义，可以有效促进我国智能制造技术的研发和创新，推动装备制造业的技术转型和升级，提高产品的设计能力和技术水平，从而多角度地提升中国制造业的核心竞争力。

中国工程院院士

潘云鹤

前言

3D 打印技术最开始被叫做快速成型技术, 诞生于 20 世纪 80 年代后期, 是基于材料堆积法的一种高新制造技术。“3D 打印”的概念被提出后, 使得人们重新认识快速成型技术。多学科交叉知识的普及, 也使得快速成型技术得到飞速发展。借鉴这样一个成功的范例, 我们在模塑成型的基础上提出了“3D 复印”的概念。基于目标产品的虚拟设计或三维扫描建模、模具结构智能规划三维打印、智能化注射模塑成型集成创新发展起来的“3D 复印”技术可望成为现代制造业智能化发展的新趋势, 有着广阔的应用前景。

3D 复印技术最早可追溯到青铜器时代, 甚至比二维纸质印刷出现得还要早。早在 3000 多年前, 人类就开始使用模具制造青铜立人、四羊方尊、后母戊鼎等大型青铜作品。北宋时毕昇发明活字印刷术, 雕版制作“泥活字”, 先制成单字的阳文反文字模, 然后按照稿件把单字挑选出来, 排列在字盘内, 涂墨印刷, 印完后再将字模拆出, 留待下次排印时再次使用。进入 20 世纪以来, 随着制造业和经济水平的飞速发展, 模塑成型以其成型效率高、产品质量好等优势成为制造业最重要的加工手段之一。

本书围绕聚合物 3D 打印与 3D 复印智能制造技术的主题, 通过对 3D 打印和 3D 复印的类比介绍, 集成聚合物精密注射模塑成型和熔体微分 3D 打印技术应用研究成果, 结合智能制造的重大需求和背景知识, 创新提出并初步探索 3D 打印/复印智能制造的核心原理和技术路线, 探讨了 3 个关键环节的科学技术问题和解决方案。全书共 6 章: 第 1 章主要介绍 3D 打印与 3D 复印的概念、意义和核心原理等基础知识; 第 2 章主要介绍聚合物 3D 打印与 3D 复印工艺; 第 3 章和第 4 章分别介绍几种典型的聚合物 3D 打印机和 3D 复印机; 第 5 章对聚合物 3D 复印用材料及其制品缺陷产生机理和解决办法进行了阐述; 第 6 章对聚合物 3D 复印技术的未来进行了展望和畅想, 重点介绍了几种切实可行的发展方向。

本书内容参阅了国内外公开发表的研究论文和技术资料, 其中也包括笔者和同事们近年来在该研究领域所取得的一些研究成果, 目的是帮助广大读者比较系统全面地了解该领域的理论发展与技术进步, 并且以复印的观念重新认识模塑成型技

术，希望能够推动聚合物模塑成型技术的快速发展。对本书原创成果有重要贡献的团队老师有杨卫民、关昌峰、张有忱、谢鹏程、焦志伟、丁玉梅、阎华、何雪涛、安瑛、谭晶等，直接以本书内容为研究课题的博士研究生有鉴冉冉、迟百宏、王建、张攀攀等，硕士研究生有解利杨、刘丰丰、刘晓军、严志云、杜彬、李月林等。此外参与本书整理工作的学生还有胡力、张玉丽等。

笔者在本书著述过程中反复斟酌，数易其稿，系统深入地介绍聚合物 3D 打印与 3D 复印创新知识，特别注意了兼顾学术参考和工业应用两方面的需要，但是因水平所限，书中不足之处在所难免，还请读者批评指正。

杨卫民

目录

1 第1章 绪论

- 1.1 3D 打印概论 / 2
 - 1.1.1 3D 打印的工作原理 / 3
 - 1.1.2 3D 打印发展历程 / 4
 - 1.1.3 3D 打印在聚合物加工成型中的应用 / 6
- 1.2 3D 复印概论 / 6
 - 1.2.1 3D 复印的工作原理 / 7
 - 1.2.2 3D 复印的意义 / 11
- 1.3 3D 打印与 3D 复印的区别 / 12
- 参考文献 / 14

15 第2章 聚合物 3D 打印与 3D 复印工艺

- 2.1 数据采集 / 16
- 2.2 数据处理 / 18
 - 2.2.1 三维建模软件 / 18
 - 2.2.2 数值分析软件 / 22
 - 2.2.3 点云处理软件 / 26
 - 2.2.4 3D 打印切片软件 / 29
- 2.3 原料制备与塑化 / 29
- 2.4 模具设计与制造 / 33
- 2.5 “样本复制”——打印和复印 / 46
 - 2.5.1 聚合物 3D 打印工艺——FDM / 46
 - 2.5.2 聚合物 3D 复印工艺——注射成型 / 49
- 参考文献 / 69

72 第3章 聚合物 3D 打印机

- 3.1 聚合物 3D 打印常用技术 / 73
- 3.2 聚合物直接熔融 3D 打印设备 / 82
 - 3.2.1 自由成型机 / 83
 - 3.2.2 熔体微分 3D 打印机 / 83
 - 3.2.3 熔体微分 3D 打印理论分析 / 86
 - 3.2.4 熔体微分 3D 打印装置的设计 / 107
 - 3.2.5 工业级熔体微分 3D 打印机 / 113
- 参考文献 / 116



第4章 聚合物3D复印机

- 4.1 概述 / 120
- 4.2 3D复印机的组成及分类 / 121
 - 4.2.1 3D复印机的组成 / 121
 - 4.2.2 3D复印机的分类 / 125
- 4.3 3D复印机的工作原理 / 130
 - 4.3.1 塑化 / 131
 - 4.3.2 充模与成型 / 137
- 4.4 3D复印机的基本参数 / 139
 - 4.4.1 注射装置主要参数 / 139
 - 4.4.2 合模装置主要参数 / 141
- 4.5 3D复印机结构设计 / 142
 - 4.5.1 注射装置 / 142
 - 4.5.2 合模装置 / 151
 - 4.5.3 驱动与安全装置 / 158
- 4.6 3D复印机过程控制 / 160
 - 4.6.1 制品精度控制核心原理 / 160
 - 4.6.2 制品精度过程控制方法 / 161
- 4.7 精密3D复印机 / 165
- 参考文献 / 173

第5章 聚合物3D复印用材料及缺陷分析

- 5.1 3D复印材料 / 176
 - 5.1.1 3D复印材料分类 / 176
 - 5.1.2 材料的熔体特点 / 183
 - 5.1.3 材料的加工特性 / 191
 - 5.1.4 材料的微观特性 / 206
- 5.2 模具型腔可视化 / 211
- 5.3 3D复印缺陷产生机理及解决办法 / 216
 - 5.3.1 制品的常见缺陷 / 216
 - 5.3.2 典型缺陷产生机理 / 217
 - 5.3.3 3D复印制品缺陷产生原因及解决方案 / 221
- 参考文献 / 244

第6章 聚合物3D复印技术的未来

- 6.1 模具智能制造 / 247
 - 6.1.1 3D打印模具 / 247
 - 6.1.2 自适应模具 / 256
- 6.2 3D印制技术 / 258
- 6.3 智能物联时代 / 261
- 参考文献 / 264

索引



第1章

绪 论

随着社会的不断发展, 聚合物在各领域的应用比重逐年提高, 甚至表现出比金属材料更优异的性能, 不仅可以达到金属材料的强度刚度要求, 还可以通过添加助剂使其具有阻燃、导电、抗氧化等特性以满足特定场合的使用要求, 在某些领域已经代替钢铁等金属材料。而聚合物加工成型与先进制造技术也取得了长足的发展, 正朝着更加精密、更加节能、更加高效的方向发展。

聚合物 3D 打印技术是一种先进制造技术, 它为材料到结构提供了一种新的制造方法, 是一种“从无到有”的增材制造方法, 突破了传统制造技术在形状复杂性产品制造方面的技术瓶颈, 能快速制造出传统工艺难以加工, 甚至无法加工的复杂形状及结构特征。但是, 目前由于其设备和材料成本高昂, 制品精度和强度较低, 应用范围受到很大限制。此外, 由于“3D 打印”是以逐层堆积的方式构造产品, 成型效率相对较低。

在聚合物模塑成型技术基础上发展起来的聚合物“3D 复印技术”, 对三维实体进行精确复制, 将熔融的聚合物注入特定模腔进行冷却固化成型, 是一种“从一到多”的等材制造方法。聚合物“3D 复印”技术是将注塑成型装备作为“3D 复印机”, 以 3D 打印模具为手段, 实现复杂结构特征塑料制品的三维立体复制, 生产过程高度自动化、效率高、速度快、制品精度高。“3D 复印机”与传统的纸质复印机一样, 能够实现样本的快速、高精度、大批量复制。而复印的价值就在于“低成本、高效率”, 因此 3D 复印技术具有广阔的应用前景, 能够满足日益迫切的市场需求。3D 复印工艺大致分为三个阶段: 制品实体扫描或原型构建、模具设计与打印、模塑成型。无论是高精度产品制造还是大批量生产, “3D 复印”技术都有着其他技术无可比拟的优势。

1.1 3D 打印概论

随着新型工业化、信息化、城镇化的同步推进, 居民消费潜力不断释放, 客户需求日趋多样化和个性化, 产品更新速度加快、生产周期变短、质量要求越来越高、成本越来越低。多品种、小批量生产模式已成为企业现代经济的一种模式^[1-3]。而个性化、小批量的高分子医用产品、航空航天配件、文化创意制品等需求的快速发展, 又使研发及设计样品制造需求不断扩大, 因此一种满足小批量快速加工的塑料成型方法成为研究热点。

3D 打印技术是先进制造技术中的重要研究领域,它的优点在于可制备复杂曲面制品、近净成型、数字化设计与制造等^[4]。经过 30 多年的发展,3D 打印技术从概念、工艺及设备研发向行业应用迅速转移,给传统制造业及智能制造发展趋势带来深刻影响。根据加工材料的类型与方式进行分类,又可分为金属 3D 打印、聚合物 3D 打印、生物材料 3D 打印等。

我们平常使用的普通打印是用于打印计算机输出的平面物品,但是实际上,3D 打印与普通打印的工作原理基本相似。普通打印是将墨水喷涂在纸张上,而 3D 打印则是利用金属、塑料等材料累积叠加成三维立体图形,将计算机建立的模型以实物的形式展现出来。

与传统加工方式相比,3D 打印技术的生产成本与制品的复杂程度无关,只与用料多少及用料成本有关,从一定程度上,能够降低制造成本。3D 打印技术可以直接成型整个部件,无需组装,并且大大扩展了所加工制品形状的范围。3D 打印因具有的这些优势,在未来会逐渐渗透到人们的生活中,得到越来越广泛的应用。

1.1.1 3D 打印的工作原理

3D 打印技术(3D Printing)又被称为增材制造技术(additive manufacturing)、快速成型技术(rapid prototyping)。ASTM 国际标准组织 F42 增材制造技术委员会对其原理的定义为:“根据三维模型数据,通过逐层堆积材料的方式进行加工,有别于减材制造方法,通常通过喷头、喷嘴或其他打印技术进行材料堆积的一种制品加工方法。”^[5]它与普通打印工作原理基本相同,打印机内装有液体或粉末等“打印材料”,与电脑连接后,通过电脑控制把“打印材料”一点点叠加起来,最终把计算机上的蓝图变成实物。

3D 打印材料、3D 打印机、设计好的 3D 模型图是 3D 打印的必备条件。3D 打印材料就如同普通喷墨打印机的“A4 纸”和“墨水”,想打印不同种类,只需根据自身需求,结合实际情况选择相应的 3D 打印材料就可打印出最终作品。要提到的一点是,如果选择金属类材料,需选择与之对应的金属 3D 打印。

3D 打印基本的加工流程可分为 5 个步骤,如图 1-1 所示。

① 三维建模 运用三维软件构建三维曲面或实体模型,可使用的软件包括 NX、Pro/E、SolidWorks 等工程类软件,Rhinos、Maya、3Dmax 等复杂曲面建模软件等。

② 三角网格化 (STL) STL 文件是一种数字化网格文件, 能够描述三维物体的几何信息。在三维软件中可通过设置弦高的方式提高模型精度, 并导出模型的数字文件。

③ 模型分层 将 STL 文件转到 3D 打印软件进行模型分层和工艺设定。不同类型的 3D 打印设备具有不同的工艺设定软件, 如开源 3D 桌面打印机的 Cura、Simplify、Makerware 软件等; 对于工业级 3D 打印机, 其软件与设备合成, 开源软件较少。在软件中对数字模型进行切片分层、路径规划, 并对打印速度、填充率、温度、压力等参数进行设定, 最终生成 3D 打印设备可识别的语句, 如 Gcode 切片文件。

④ 堆积制造 不同类型的 3D 打印机有不同的打印准备流程, 与耗材及工艺相关, 但均采用逐层堆积的方式进行加工, 这样将复杂的物理实体转化为二维片层加工, 降低了加工难度, 而且产品的结构复杂程度对加工工艺无影响。

⑤ 后期处理 在打印完成后, 为保证制品的表面精度及其他性能, 需进行一系列后处理, 如清除支撑结构、清洗残余粉末及树脂等; 或者在丙酮蒸气里进行表面光滑处理, 以及为提高制品力学性能, 用紫外线进行照射等处理方法。

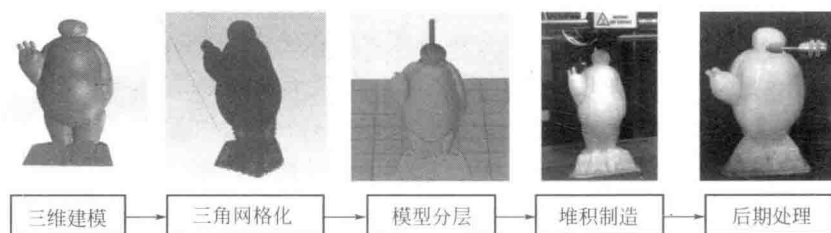


图 1-1 3D 打印基本流程

1.1.2 3D 打印发展历程

3D 打印的想法起源于 19 世纪末美国的一项分层构造地貌地形图的专利。1984 年, Hull 提出快速成型的概念, 真正确立则是以美国麻省理工学院的 Scans E. M 和 Cima M. J 等在 1991 年申报关于三维打印专利为标志。近三十年来, 3D 打印技术得到了迅速发展, 其发展历程如图 1-2 所示。2005 年, Zcrops 公司成功研制出首台高清彩色 3D 打印机——Spec-

trum Z510。2010年11月，第一辆3D打印的汽车Urbee由美国Jim Kor团队打造出来。之后，更是出现3D打印金属枪/飞机等。



图 1-2 3D 打印发展历程

3D 打印工艺主要分为 7 大类^[6]：耗材挤出成型（material extrusion）、耗材喷射成型（material jetting）、胶液喷射成型（binder jetting）、片层堆叠成型（sheet lamination）、光固化成型（vat photopolymerization）、粉末床熔结成型（power bed fusion）、定向能量沉积成型（direction energy deposition）。每大类包含众多分类，成型工艺稍有区别。

常用于聚合物且已得到广泛应用的 3D 打印工艺有：丝材熔融沉积成型（fused deposition modeling, FDM）、选择性激光烧结成型（selective laser sintering, SLS）、液态树脂光固化成型（stereo lithography apparatus, SLA）、薄材叠层实体制造（laminated objected manufacturing, LOM）、三维印刷（three dimension printing, 3DP）、微滴喷射成型（micro-droplet jetting, MDJ）。这 6 种打印工艺各有优缺点，根据耗材的不同或其 3D 打印设备的价格来选择不同的成型工艺，将在后续章节进行详细介绍。

1.1.3 3D 打印在聚合物加工成型中的应用

根据 Wohlers 2015 研究报告^[6], 3D 打印技术应用日趋广泛, 2014 年非金属打印机销售 13393 台, 其中用于聚合物加工的设备占 90% 以上。基于聚合物的 3D 打印制品主要应用于模型制品及结构功能制品, 主要分布在: ①视觉教具, 应用于工程、设计及医学教学领域; ②展示模型, 应用于建筑及创新设计展示领域; ③结构器件, 应用于临时装配、组装的机械结构领域; ④铸造模具, 应用于小批量翻模或铸造阳模等领域; ⑤功能制品, 具有特殊用途的相关制品领域。

研究人员在聚合物 3D 打印制品应用领域进行了大量的尝试, 并针对其特殊应用对 3D 打印工艺进行优化, 拓宽了 3D 打印的应用范围。

1.2 3D 复印概论

3D 复印技术是相较于 3D 打印技术而提出的概念, 顾名思义, 是指大批量复制三维实体的技术。狭义上讲, 即聚合物模塑成型技术, 包括注塑、吹塑、滚塑等; 广义上讲, 所有依靠“模子”来重复成型制品的技术均属于 3D 复印的范畴, 例如, 金属铸造、金属压铸、冲压等金属加工技术。

3D 复印工艺分为三个阶段: 制品实体扫描或原型构建、模具设计与制造、模塑成型。制品实体扫描是指以实物化为导向, 对实体进行三维数据采集, 导入计算机系统; 制品原型构建是指以数字化为导向, 通过三维制图软件进行制品设计和模拟仿真软件进行制品优化, 形成三维数据。

模具是 3D 复印技术的核心部件。它的作用是控制和限制材料(固态或液态)的流动, 使之形成所需要的形体。模具因其具有效率高、产品质量好、材料消耗低、生产成本低的特点而广泛应用于制造业中。在电子、汽车、电机、电器、仪表、家电和通信等产品中, 60%~80% 的零部件都依靠模具成形。模具质量的高低决定着产品质量的高低, 因此, 模具被称为“工业之母”。模具又是“效益放大器”, 用模具生产的最终产品的价值, 往往是模具自身价值的几十倍, 甚至上百倍。

传统的模具制造主要通过机加工的方式, 成型周期较长。而在 3D 复印工艺中, 可通过 3D 打印模具或模仁的方式, 缩短成型周期。3D 打印模具主要分为塑料模具和金属模具, 首先打印塑料模具进行试模修模等, 然后打印金属模具进行最终制品的成型和复制。

进入 20 世纪以来,随着制造业和经济水平的飞速发展,模塑成型以其成型效率高、产品质量好等优势成为制造业最重要的加工手段之一(图 1-3)。而模具生产的工艺水平及科技含量的高低,已成为衡量一个国家科技与产品制造水平的重要标志,它在很大程度上决定着产品的质量、效益、新产品的开发能力,决定着一个国家制造业的国际竞争力。

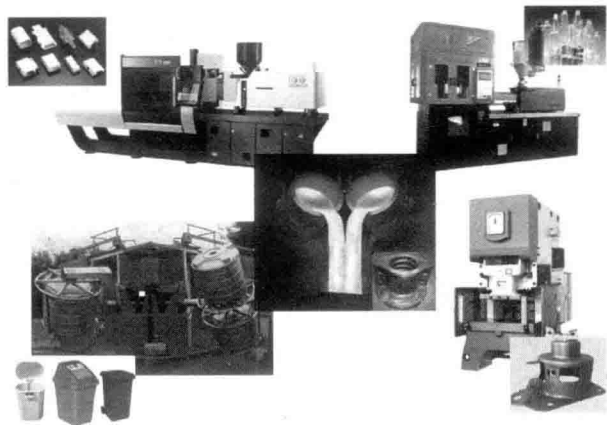


图 1-3 3D 复印技术

1.2.1 3D 复印的工作原理

3D 复印的基本原理(图 1-4)是根据三维实体的结构轮廓、形状特征等信息制作模具型腔,然后在模具型腔内注入材料,在外力或材料自身相态变化的作用下,复制成型。在此加工过程中,不同的材料需要分别加以控制,使其达到所需要的加工温度,而后按预先设定好的工艺流程,注入模具中,最后冷却固化得到所需要的制品。

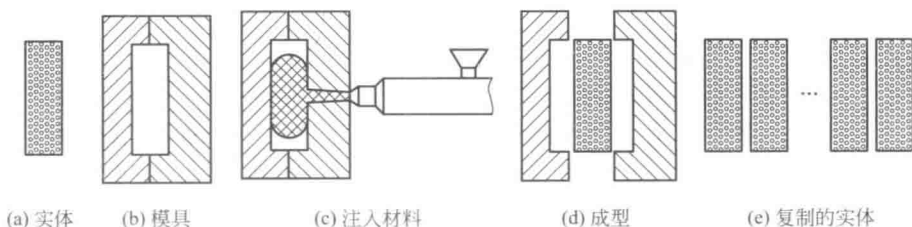


图 1-4 3D 复印基本原理

3D 复印成型加工有许多种基本方式。这里主要介绍两种：一种是注塑技术及其衍生技术；另一种是滚塑成型技术。

(1) 注塑技术及其衍生技术

注射成型技术（简称注塑技术），是将加热熔融的聚合物材料注射到模具型腔内，经冷却固化而得到成型制品的技术，它是塑料制品加工成型最重要的工艺方法之一，也是 3D 复印技术最基本、应用最广泛的形式之一^[7]。

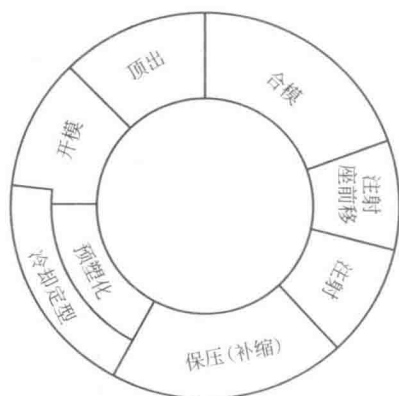


图 1-5 注塑机工作过程循环周期

注射成型是一个周期性往复循环的过程，从注射成型机（简称注塑机）单元操作来看，其动作分为塑化、注射、充模、保压、冷却、脱模等阶段，其工作过程循环周期如图 1-5 所示。循环由模具闭合开始，熔体注射进入型腔；型腔充满后会继续保持压力以补充物料收缩，称为保压；在物料冷却过程开始时，螺杆开始转动，在螺杆前端储料用于下一次注射；待制品充分冷却后，开模，顶出制品。完成一次循环的时间称为成型周期，它是关系生产率和设备使用率的重要指标。

① 模具的闭合与锁紧 注塑机的复印过程从模具闭合开始，动模板首先以高速向定模板移动，在二者快要接触时，动模板改以低速压紧，待动定模板之间的压力达到所需值之后，信号反馈给控制系统，进行下一动作。

② 注射座前移、注射及保压 注射系统接到控制系统的信号后，开始慢慢地向模具系统移动，直到和模具贴合。螺杆在注塑油缸驱动下快速前移，以一定压力和速度将熔料注入模具中。但是，由于低温模具的冷却作用，注入模具中的熔料，随着时间的推移会发生收缩，为了补偿这一部分收缩，制得质量致密的制品，通常螺杆前端会存有少量熔料（料垫），收缩过程中，这部分熔料便进入到模具中，此时螺杆相应的会有一小段向前的位移。

③ 制品冷却与预塑化 熔料自进入模具便开始冷却，冷却达到一定程度后，浇口封闭，此时熔料无法回流到注射系统，制品便在模具内慢慢冷却。

④ 开模与顶出 制品冷却后，螺杆开始转动，螺杆前端储料用于下一次注射；待制品充分冷却后，开模，顶出制品。完成一次循环的时间称为成型周期，它是关系生产率和设备使用率的重要指标。