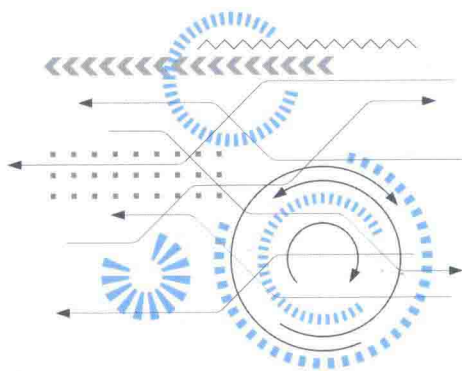


主编 徐巍

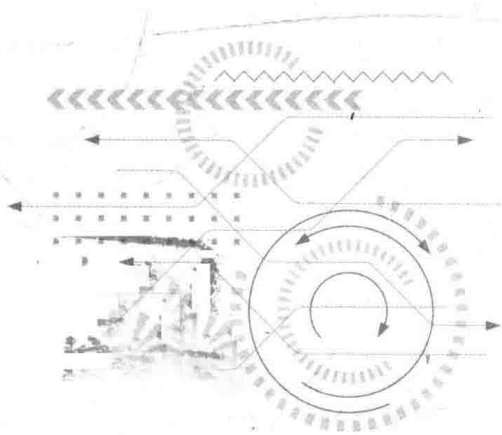


快速成型技术之

熔融沉积成型技术实践教程



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



快速成型技术之

熔融沉积成型技术实践教程

主编 徐巍



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书主要以“实例教学法”为主,主要介绍了快速成型技术的历史、种类、应用和发展趋势,讲解了构建三维数字化模型的方法和数据处理的技巧,让读者在学习三维建模的同时,了解快速成型技术的原理和应用,着重介绍了基于 FDM 技术的 3 种成型机的使用说明。通过本书,读者可以独立完成从“构思—设计—成型—论证(测试)—修改—产品”的完整产品开发过程,可以为创意设计成果向制造业转化提供不可或缺的重要保证,有利于产品的开发设计,为培养自主创新能力提供必要的条件和技术保证。

本书适用于大学的实践教学,也适用于相关高等职业学校和中等职业学校的实践教学。

图书在版编目(CIP)数据

快速成型技术之熔融沉积成型技术实践教程/徐巍主编. —上海:上海交通大学出版社,2015

ISBN 978-7-313-13476-9

I. ①快… II. ①徐… III. ①熔融—沉积—快速成型技术—教材

IV. ①TF111.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 166918 号

快速成型技术之熔融沉积成型技术实践教程

主 编:徐 巍

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:太仓市印刷厂有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

字 数:110 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-13476-9/TF

定 价:29.80 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:8.25

印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-53522925

前 言

21 世纪是中华民族实现伟大复兴的世纪,需要培养大量的创新型工程技术人才。学校通过提供先进的制造综合实践训练,来增强学生创新思维和实践动手能力。计算机绘图的三维建模及造型技巧是当今时代每个工程技术人员不可缺少的。计算机三维建模及造型使广大工程设计人员提高了设计效率、拓展了创造性思维,是工科院校学生应该掌握的一种技能。

21 世纪是以知识经济和信息社会为特征的时代,在制造业日趋国际化的状况下,缩短产品开发周期和减少开发新产品投资风险,成为企业赖以生存的关键。20 世纪 90 年代发展起来的快速成型技术为制造企业满足个性化的需求和产品的快速推出提供了可能性,它是集计算机辅助设计(CAD)/计算机辅助制造(CAM)技术、激光技术、计算机数控技术、精密伺服驱动技术及新材料技术于一体,不采用传统的加工机床和工具模具,只要通过计算机作出零件的数字化模型,就能实现零件的快速制造,如果产品设计有改动,只需在数字化模型中进行修改,很快又能制造出实物模型,模型可用于设计评估和性能测试,大大缩短了产品的制作时间和投放市场的时间,成本下降为数控加工的 $1/3 \sim 1/5$,周期缩短为传统方式的 $1/5 \sim 1/10$,极大地提高了企业的新产品开发能力和市场竞争能力。快速成型技术涉及机械工程、自动控制、激光、计算机、材料等多个学科,近年来,该技术在美国、日本、欧洲已广泛应用于工业造型、制造、建筑、艺术、医学、航空、航天、考古和影视等领域。

本书分6章,第1章主要介绍快速成型技术的历史、种类和应用,第2章介绍快速成型技术的发展趋势,第3章介绍构建三维数字化模型的方法,第4章介绍快速成型技术的数据处理,第5章介绍了熔融沉积成型技术,第6章介绍了3种熔融沉积成型技术设备的实践使用方法。本书以“实例教学法”为主,让读者在学习三维建模的同时,了解快速成型技术的原理和应用。通过本书,读者可以独立完成从“构思—设计—成型—论证(测试)—修改—产品”的完整产品开发过程,可以为从创意设计成果向制造业转化提供不可或缺的重要保证,有利于产品的开发设计,为培养自主创新能力提供必要的条件和技术保证。

在本书的编写过程中,得到了北京太尔时代有限公司、上海福斐科技发展有限公司、美国 Stratasys 公司、3D Systems 杰魔软件公司、震旦公司等快速成型厂商(或代理商)的大力支持,在此致以真诚的谢意。本书编写过程中引用了相关的科技文献与资料(主要参考文献已附于书末),在此向相关作者致以深深的谢意和敬意。

本书有较好的可读性和易理解性,不仅适用于大学的实践教学,还适用于其他高等职业学校和中等职业学校的实践教学。

由于快速成型技术发展迅速,且作者水平有限,书中存在的缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

作者

2015年3月

目 录

第 1 章 快速成型技术概述	1
1.1 快速成型技术的发展历程	2
1.2 快速成型技术	3
1.2.1 快速成型技术原理	3
1.2.2 快速成型技术的工艺过程	4
1.2.3 快速成型技术的特点	4
1.3 快速成型技术的种类	5
1.3.1 立体印刷成型技术(Stereo Lithography Apparatus, SLA)	5
1.3.2 层合实体制造技术(Laminated Object Manufacturing, LOM)	6
1.3.3 激光烧结成型技术(Selected Laser Sintering, SLS)	7
1.3.4 熔融沉积成型技术(Fused Deposition Modeling, FDM)	7
1.3.5 三维喷涂黏结技术(Three Dimensional Printing and Gluing, 3DPG)	8
1.4 快速成型技术的用途与应用	9
1.5 快速模具技术	12

思考题	14
第2章 快速成型制造技术的发展趋势	15
2.1 桌面化设备	15
2.2 金属零件直接快速制造技术	16
2.2.1 激光选区熔化成型制造技术	16
2.2.2 激光熔覆成型制造技术	18
2.2.3 电子束选区熔化成型制造技术	19
2.3 传统工业领域的快速制造	19
2.4 微纳米加工中的快速成型制造技术	21
2.5 生物医学领域的快速成型制造技术	22
思考题	23
第3章 数字化模型设计	24
3.1 工作界面	24
3.2 文件操作	25
3.3 定制工作界面	26
3.4 二维草绘基础	32
3.4.1 进入草绘环境	32
3.4.2 草绘环境中各工具栏按钮	32
3.4.3 绘制草图的基本方法	34
3.4.4 实例操作	42
3.5 特征建模	47
3.5.1 拉伸特征	49
3.5.2 旋转特征	59
3.5.3 扫描特征	64

思考题	68
第 4 章 快速成型数据处理实践	69
4.1 常用快速成型数据文件	69
4.2 Geomagic Studio	71
4.2.1 启动软件及用户界面	71
4.2.2 鼠标控制和快捷键	73
4.2.3 Geomagic Studio 实践操作	75
思考题	79
第 5 章 熔融沉积成型技术	80
5.1 熔融沉积成型技术原理	80
5.2 熔融沉积成型技术的特点	81
5.3 熔融沉积成型技术精度分析	81
5.3.1 模型制作的影响因素	81
5.3.2 解决的方法	84
5.4 熔融沉积成型技术的应用	86
思考题	87
第 6 章 熔融沉积成型技术实践	88
6.1 Dimension Uprint SE Plus 成型机成型实践	88
6.1.1 工作原理	88
6.1.2 主要性能参数	89
6.1.3 CatalystEX 软件与 Uprint SE Plus 成型机操作 实践	89
6.2 FPRINTA 成型机成型实践	94

6.2.1	工作原理	95
6.2.2	主要性能参数	95
6.2.3	AURORA 软件与 FPRINTA 成型机操作 实践	95
6.3	UP Plus 2 成型机成型实践	103
6.3.1	工作原理	103
6.3.2	主要性能参数	103
6.3.3	UP! 软件与 UP Plus 2 成型机操作实践	104
6.4	3 种设备制作比较	107
	思考题	108
附录 1	快速成型技术实践安全须知	109
附录 2	AURORA 软件命令参考	111
附录 3	作品测评标准	116
附录 4	学生部分作品展	118
	参考文献	121

第 1 章

快速成型技术概述

随着全球市场一体化的形成,制造业的竞争十分激烈,产品更新换代日益加快。企业的竞争力将主要体现在根据市场要求,不断地推出新产品。由于产品的复杂程度日益增加,产品的开发周期往往大于产品的市场生命周期。在新产品的开发过程中,总是需要对所设计的零件或整个系统在投入大量资金进行加工或装配之前先期加工一个简单的样品或原型。这样做主要是因为生产成本昂贵,而且模具的生产需要花费大量的时间准备。因此,在准备制造和销售一个复杂的产品系统之前,对工作原型的分析可以起到对产品设计进行评价、修改和功能验证作用。

一个产品的典型开发过程是从前一代的原型中发现错误或从进一步的研究中发现更有效和更好的设计方案。而一件模型的生产极其费时,仅模具的准备就需要几个月时间。对于一个复杂的零件,用传统方法加工非常困难。新产品的开发能力,不仅在于一个性能优良的产品设计,而更重要的是将一个好产品迅速推向市场这一过程中的试制能力和生产准备能力,即快速制造的能力。面对市场竞争的日趋激烈,制造业已经从“规模效益第一”、“价格竞争第一”转变为“市场响应第一”。国外拥有计算机辅助设计(CAD)、快速成型制造(RP&M)等先进开发手段,机电产品开发周期一般为 3~6 个月,而依据我国现有的技术条件,则需要 24 个月。

快速成型(Rapid Prototyping, RP)技术是 20 世纪 80 年代初在美国开

发的高新制造技术,其重要意义可与数控技术(CNC)相比。它是直接根据CAD模型快速生产样件或零件的成组技术的总称,它集成了CAD技术、数控技术、激光技术和材料技术等现代科技成果,是先进制造技术的重要组成部分。

1.1 快速成型技术的发展历程

1892年,J. E. Blather在他的专利中,曾建议用分层制造法构成地形图。原理是将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上,然后按轮廓线切割蜡片,并将其黏结在一起,烫平表面得到三维地形图。1902年,Carlo Baese提出了用光敏聚合物制造塑料件的原理,这是现代第一种快速成型技术——立体印刷成型(SLA)的初步设想。1940年,Perera提出了在硬纸板上切割轮廓线,然后将这些纸板黏结成三维地形图的方法。到1976年,Paul L Dimatteo提出,先用轮廓跟踪器将三维物体转化成许多二维廓薄片,然后用激光切割这些薄片成型,再用螺钉、销钉等将一系列薄片连接成三维物体,这就是层合实体制造(LOM)技术的初期原理。1979年,日本东京大学的Nakagawa教授开始采用分层制造技术制作实际的模具。1980年代末期,快速成型技术发展很快,1986年,Charles W Hull提出用激光束照射液态光敏树脂、从而分层制作三维物体的现代快速成型机的方案,取得美国专利(专利号:4575330)。1988年,美国的3D System公司据此专利,生产出了第一台现代快速成型机SLA-250,开创了快速成型技术发展的新纪元。1984年Michael Feygin提出LOM方法,并于1985年组建美国的Helisys公司,于1992年研制出第一台LOM成型设备LOM-1015。1986年美国Texas大学研究生C. R. Dechard提出了SLS设想,并组建了DTM公司,于1992年研制了第一台商业化SLS成型设备Sinterstation。1988年美国Scott Crump工程师提出FDM设想,Stratasys公司于1992年开发出第一台商业熔融沉积制模(FDM)成型设备3D-Modeler。1989年美国麻

省理工学院 Emanuel M. Sachs 申请了三维打印机的专利,于 1993 年开发了 3DP™,奠定了 Z Corporation 原形制造过程的基础。

1.2 快速成型技术

1.2.1 快速成型技术原理

快速成型技术(简称 RP 技术),不同于传统的“去除成型”技术,不需要使用刀具、机床、夹具来去除毛坯上的多余材料而得到所需的零件形状。RP 技术是基于离散和堆积原理,采用新的“增长”加工方法,即先将零件的数字化模型按一定方式离散,成为可加工的离散面、离散线和离散点,而后采用物理或化学手段,将这些离散的面、线段和点堆积而形成零件的整体形状(见图 1-1),所以也称为“叠层制造技术”。

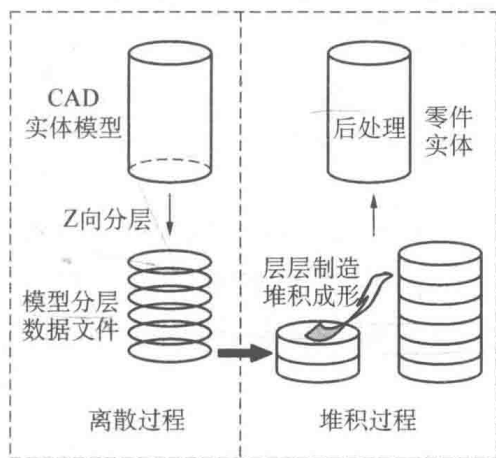


图 1-1 快速成型原理

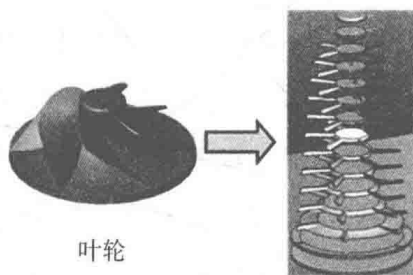


图 1-2 叶轮模型的二维叠加

与传统制造技术不同,快速成型技术将复杂的三维制造转化为一系列二维制造的叠加,极大地提高了生产效率和制造柔性,图 1-2 为叶轮模型的二维叠加示意图。

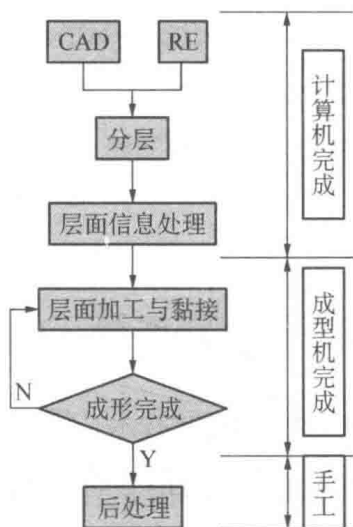


图 1-3 快速成型工艺过程

1.2.2 快速成型技术的工艺过程

快速成型工艺的全过程一般包括前处理、叠加成型、后处理 3 个步骤(见图 1-3)。

(1) 前处理:可以通过三维软件设计出数字化模型或通过反求技术来得到数字化信息,然后对这些数字化模型进行网格化处理,再对其进行分层切片,得到各层截面的二维轮廓信息,按照这些轮廓信息生成加工路径输出。

(2) 分层叠加成型:这是核心部分,主要由成型头在控制系统的控制下,选择性地固化或切割成型材料,形成各个截面轮廓薄片,并逐步依次叠加成三维坯件。

(3) 后处理:主要包括剥离、拼接、修补、打磨、抛光和表面喷涂等处理,使其在外观、强度和性能等方面达到设计要求。

1.2.3 快速成型技术的特点

(1) 高柔性:无须任何专用夹具或工具,只需根据零件的形状进行快速制造,缩短新产品的研发与试制时间,另外采用离散、分层制造,所以不用考虑零件的复杂程度,即可制造出任意复杂的三维模型,越是复杂的零件越能显示出快速成型技术的优越性。

(2) 高度集成:快速成型技术是计算机、数控、激光和材料等技术的综合集成,具有时代特征。计算机可以实现模型设计以及数据离散;数控技术为高速精确的轮廓扫描提供保障;激光技术使材料的固化、烧结、切割成为现实。

(3) 设计、制造一体化:在传统的产品研发过程中,设计与制造是分开进行的,常常会发生在制造中发现设计问题,导致重新开始设计。快速成型技术实现了材料的提取过程与制造过程的一体化、设计与制造的一体化,节约工时和研发费用。

(4) 材料的广泛性:由于快速成型工艺方法的不同,所使用的材料也各不相同,包括金属、纸、塑料、光敏树脂、工程蜡、陶瓷粉、工程塑料、尼龙、生物降解塑料聚乳酸(PLA)等材料。

(5) 快速响应性:由于快速成型技术不必采用传统的加工机床和模具,只需要传统加工方法 30%左右的工时和 35%左右的成本,大大缩短了新产品的研发周期,特别适合于新产品的开发。

1.3 快速成型技术的种类

1.3.1 立体印刷成型技术(Stereo Lithography Apparatus, SLA)

该技术由 Charles Hull 于 1984 年获美国专利,1986 年美国 3D Systems 公司推出商品化样机。该技术主要利用了液态光敏树脂的光聚合原理,这种液态材料在一定波长(325 nm 或 355 nm)和强度(10~400 mW)的紫外光的照射下能迅速发生光聚合反应,分子量急剧增大,材料也就从液态转变成固态。液槽中盛满液态光固化树脂,激光束在偏转镜作用下,能在液态表面上扫描,扫描的轨迹及位置均由计算机控制,光点扫描到的地方,液体就固化。开始时,工作平台在液面下一个确定的深度,液面始终处于激光的焦平面,聚焦后的光斑在液面上按计算机的指令逐点扫描,即逐点固化。当一层扫描完成后,未被照射的地方仍是液态树脂。然后升降台带动平台下降一层高度,已成型的层面上又布满一层树脂,刮平器将黏度较大的树脂液面刮平,然后再进行下一层的扫描,新固化的一层牢固地黏在前一层上,如此重复直到整个零件制造完毕,得到一个三维实体模

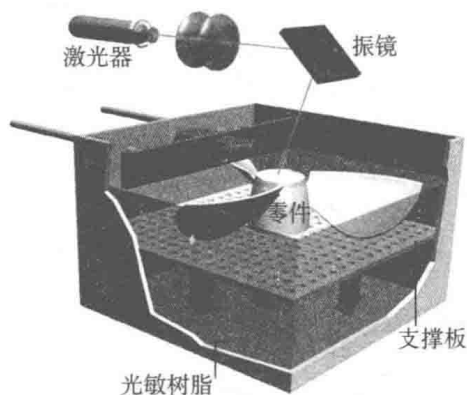


图 1-4 立体印刷成型原理

型,如图 1-4 所示。

其优点是精度较高、表面效果好,缺点是运行费用较高,且成型原件强度低、无弹性,无法进行装配。

1.3.2 层合实体制造技术 (Laminated Object Manufacturing, LOM)

该技术由美国 Helisys 公司的 Michael Feygin 于 1986 年研制成功。该工艺是将薄片材料(如纸、塑料薄膜等)表面事先涂覆上一层热熔胶,用 CO_2 激光器在新层上切割出零件截面轮廓和工件外框,并在截面轮廓与外框之间多余的区域内切割出上下对齐的网格,激光切割完成后,工作台带动已成型的工件下降,与带状片材(料带)分离,供料机构转动收料轴和供料轴,带动料带移动,使新层移到加工区域,工作台上上升到加工平面,热压辊热压,工件的层数增加一层,高度增加一个料厚,再在新层上切割截面轮廓,如此反复直至零件的所有截面黏接和切割完,得到实体零件,如图 1-5 所示。

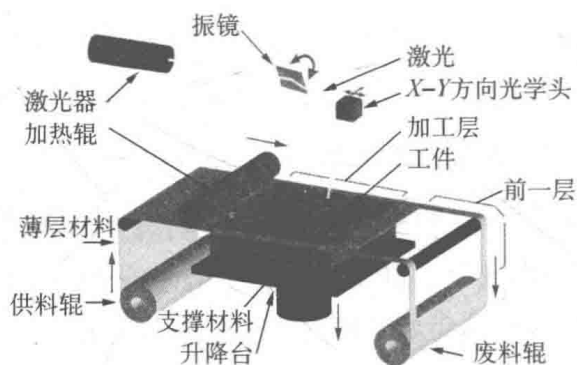


图 1-5 层合实体成型原理

此技术材料品种单一,不适宜做薄壁模型,受湿度影响容易变形,强度差,运行成本较高,材料利用率很低,后期打磨工作量很大。

1.3.3 激光烧结成型技术(Selected Laser Sintering, SLS)

该技术由美国德克萨斯大学奥斯汀分校的 C. R. Dechard 于 1989 年研制成功。首先将材料粉末铺洒在工作台表面并刮平,再用高强度的 CO_2 激光器在刚铺的新层上扫描出零件截面,材料粉末在高强度的激光照射下被烧结在一起,得到零件的截面,当一层截面烧结完后,工作台下降,铺上新的一层材料粉末并刮平,继续烧结下一层截面,如此反复直至零件烧结成型,如图 1-6 所示。

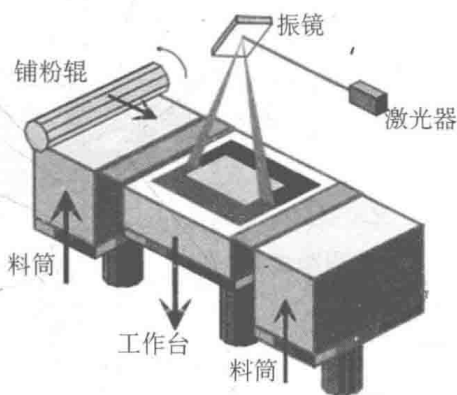


图 1-6 激光烧结成型原理

该工艺最大的优点在于选材较为广泛,如尼龙、蜡、ABS、树脂裹覆砂(覆膜砂)、聚碳酸酯(poly carbonates)、金属和陶瓷粉末等都可以作为烧结对象。粉床上未被烧结部分成为烧结部分的支撑结构,因而无须考虑支撑系统(硬件和软件)。缺点是模型精度难控制、强度差、后处理工艺复杂、样件变形大、工作量大。

1.3.4 熔融沉积成型技术(Fused Deposition Modeling, FDM)

该技术是利用热塑性材料的热熔性、黏结性,在计算机控制下层层堆积成型。熔融沉积成型工艺原理是材料通过送丝机构送进喷头,在喷头内被加热熔化,喷头沿零件截面轮廓和填充轨迹运动,同时将熔化的材料挤出,材料迅速固化,并与周围的材料黏结,层层堆积成型,如图 1-7 所示。

其优点是设备运行成本低、无须激光器、省掉二次投入的大量费用;此种工艺的特点是既可以将零件的壁内做成网状结构,也可以将零件的壁做成实体结构。这样当零件壁内是网格结构时可以节省大量材料。成型的零

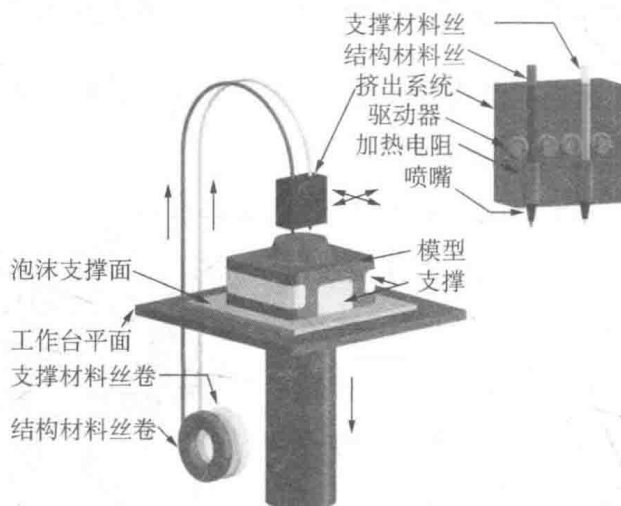


图 1-7 熔融沉积成型原理

件成型样件强度好、易于装配，且在产品设计与测试与评估等方面得到广泛应用。

1.3.5 三维喷涂黏结技术(Three Dimensional Printing and Gluing, 3DPG)

三维印刷(3DP)工艺是美国麻省理工学院 Emanuel Sachs 等人研制的，于1989年申请了3DP专利，该专利是非成型材料微滴喷射成形范畴的核心专利之一。3DP工艺与SLS工艺类似，采用粉末材料成型，如陶瓷粉末。所不同的是材料粉末不是通过烧结连接起来的，而是通过喷头用黏合剂(如硅胶)将零件的截面“印刷”在材料粉末上面。具体工艺过程是上一层黏结完毕后，成型缸下降一个距离(等于层厚： $0.013 \sim 0.1 \text{ mm}$)，供粉缸上升一高度，推出若干粉末，并被铺粉辊推到成型缸，铺平并被压实。喷头在计算机控制下，按下一建造截面的成型数据有选择地喷射黏结剂建造层面。铺粉辊铺粉时多余的粉末被集粉装置收集。如此周而复始地送粉、铺粉和喷射黏结剂，最终完成一个三维粉体的黏结。未被喷射黏结剂的地方为干