

快速成型技术与 应用

韩霞 杨恩源 编著

王文博 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

快速成型技术与应用

韩 霞 杨恩源 编著
王文博 主审



机械工业出版社

本书对当今快速成型技术与应用进行了系统、全面的介绍。详细介绍了目前常用的快速成型技术、材料及设备、数据处理及关键技术、应用与发展趋势等内容。本书的显著特点是实践内容丰富、条理清晰、图文并茂。

本书可作为高等院校机械类和材料加工类专业以及相关职业技术学院教学的教材和参考书,也可作为制造业新技术人员的培训教材和从事快速成型技术研究工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

快速成型技术与应用/韩霞,杨恩源编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 2

ISBN 978-7-111-37057-4

I. ①快… II. ①韩…②杨… III. ①快速成型技术 IV. ①TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第004386号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲彩云 责任编辑:曲彩云 王彦青

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:赵颖喆 责任印制:杨 曦

北京四季青印刷厂印刷

2012年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm·13.5印张·276千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37057-4

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
策划编辑(010) 88379782

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

快速成型 (Rapid Prototyping, RP) 技术是 20 世纪 90 年代迅速发展起来的一种先进制造技术,是服务于制造业新产品开发的一种关键技术。它对促进企业的产品创新、缩短新产品研发周期、提高产品竞争力等起着积极的推动作用。该技术自问世以来,逐渐在世界各国的制造业中得到了广泛的应用,并由此催生出一个新兴的技术领域。

快速成型技术是集 CAD/CAM 技术、激光技术、计算机数控技术、精密伺服驱动技术以及新材料等技术为一体,由 CAD 模型直接驱动的可快速制造出任意复杂形状三维物理实体的技术总称。不同类型的快速成型系统因所用成型材料不同,其成型原理和系统特点也各不相同,但其基本原理大致相同,都是采用分层制造、逐层叠加的工艺制作。

本书对当今快速成型技术与应用进行了系统、全面的介绍。详细介绍了目前常用的快速成型技术、材料及设备、数据处理及关键技术、应用及发展趋势等内容。本书的显著特点是实践内容丰富、条理清晰、图文并茂,可作为高等院校机械类和材料加工类专业以及相关职业技术院校的教材和参考书,也可作为制造业新技术人员的培训教材和从事快速成型技术研究工作人员的参考书。全书共分六章:

第一章概论,介绍快速成型 (Rapid Prototyping, RP) 技术的概念、基本原理、工作过程以及其应用现状和发展趋势。

第二章几种典型的快速成型技术,介绍常用的几种快速成型 (SLA、SLS、FDM、LOM) 技术以及快速成型技术的比较和选用原则。

第三章快速成型材料及设备,介绍 SLA、SLS、FDM、LOM 等快速成型技术用的成型材料、设备以及快速成型材料的发展方向。

第四章快速成型技术的数据处理及关键技术,介绍快速成型前期的数据预处理、快速成型中期的数据处理以及应用实例。

第五章快速成型技术的精度,介绍快速成型数据模型的前期预处理、中期处理,快速成型制件的后处理及表面精度。

第六章快速成型技术的应用及发展趋势,介绍产品快速设计与制造系统的集成,逆向工程、快速成型与快速模具系统的集成以及快速成型技术的发展趋势。

本书作者查阅了大量的国内外制造业领域的文献与技术资料,并结合自己丰富的实践经验及科研成果,总结出本书的技术内容,方便广大读者在进行相关领域的学习和研究时借鉴与参考;同时,书中还附有产品设计制作模型图,以供读者参考。

本书由韩霞、杨恩源编著。

在本书的编写过程中，得到了王文博教授的大力支持与指导并主审了全部书稿，提出了许多宝贵意见；姚云副教授和杨洪君副教授也对本书的编写给予了细心指导与帮助，在此表示最衷心的感谢！

作 者

于北京服装学院

目 录

前言

第一章 概论	1
内容提要	1
第一节 快速成型技术的发展	1
第二节 快速成型技术的市场及研究领域	7
第三节 快速成型技术的用途	10
本章小结	17
复习思考题	17
第二章 几种典型的快速成型技术	18
内容提要	18
第一节 快速成型技术的分类	18
第二节 光固化成型 (SLA) 技术	26
第三节 选择性激光烧结成型 (SLS) 技术	37
第四节 熔丝堆积成型 (FDM) 技术	47
第五节 分层实体成型 (LOM) 技术	58
第六节 三维打印成型 (3DP) 技术	69
第七节 其他典型快速成型技术	78
第八节 快速成型技术的比较及选用原则	87
本章小结	92
复习思考题	92
第三章 快速成型材料及设备	93
内容提要	93
第一节 光固化成型材料及设备	96
第二节 选择性激光烧结成型材料及设备	102
第三节 熔丝堆积成型材料及设备	108
第四节 分层实体成型材料及设备	114
第五节 快速成型材料的发展方向	120
本章小结	126
复习思考题	126
第四章 快速成型技术的数据处理及关键技术	127
内容提要	127

第一节 快速成型技术前期的数据预处理	128
第二节 快速成型技术中期的数据处理	141
第三节 应用实例	145
本章小结	151
复习思考题	151
第五章 快速成型技术的精度	153
内容提要	153
第一节 快速成型技术前期处理精度	153
第二节 快速成型技术中期处理精度	163
第三节 快速成型制件的后处理及表面精度	173
本章小结	183
复习思考题	183
第六章 快速成型技术的应用及发展趋势	184
内容提要	184
第一节 产品快速设计与制造系统的集成	184
第二节 逆向工程、快速成型与快速模具系统的集成	189
第三节 快速成型技术的发展趋势	202
本章小结	208
复习思考题	208
参考文献	209

第一章 概 论

内容提要

本章主要简述了快速成型（Rapid Prototyping, RP）技术的基本概念、基本原理、加工制造过程以及当今的应用现状和发展趋势。由于 RP 技术是基于一种离散后又进行堆积的快速成型思想，即将复杂产品的三维加工首先离散成许多具有相同层厚的二维层片，然后再进行逐点、逐线进而逐面的材料堆积成型，因此又称之为降维制造或增材制造技术。

在 RP 成型过程中不采用传统机械加工的夹具和模具，其成型过程的难度与待成型产品的外观结构几乎无关。目前，RP 技术与数控加工、铸锻造、金属的冷喷涂以及模具制造等手段相结合，成为当今世界上新产品快速加工与制造的强有力手段之一，已在轻工、航空航天、汽车、摩托车、生物及家电等多个领域得到了广泛应用。

第一节 快速成型技术的发展

由于计算机技术的飞速发展，及其与相关技术的广泛应用极大地改变了新产品设计的技术手段、程序与方法。同时，设计师的设计观念和思维方式也有了一定的转变，以计算机技术为代表的高新技术开辟了产品设计的崭新领域。实践证明，先进的制造技术必须与优秀的设计结合起来，才能使高新技术真正服务于人类，而工业产品的设计对推动高新技术的飞速发展起到了不可估量的作用。

工业产品设计不同于其他设计，它是对三维的、物质实体性的设计，在展开设计的不同阶段，设计师的大胆创意只靠效果图是检验不出其实体的体量关系的，只有辅助各种立体的三维实体模型，才能针对设计方案进行较直观的检测和修改。现在，我们运用 RP 技术替代传统的、手工模型的制作，更加精确、快速、直观并且完整地传递出产品的三维信息，建立起一种并行结构的设计系统，更好地将设计、工程分析与制造三方面集成，使不同专业的人员可及时反馈信息，从而缩短产品的开发周期，最终保证产品设计与制造的高质量。

当前，市场环境发生了巨大变化，用户可以在世界范围内选择自己所需要的产品，因而对产品的品种、价格、质量及服务提出了更高的要求。一方面，消费者的需求也在趋于主体化、个性化和多样化；另一方面，产品设计师与制造商们都着眼于全球市场的激烈竞争。面对当前市场的激烈竞争，企业不但要迅速设计出符合消费者要求的产品，而且还必须将它们在最短时间内设计、加工与制造出来，从而尽快抢占市场。因此能否快速地响应市场的需求，已成为当今制造业发展的必由

之路。

RP 技术就是在这种社会背景下逐步形成并得以迅速发展的。它能快速、自动地借助于三维实体建模软件将设计者设计出的模型，物化为具有一定结构与功能的三维原型或直接加工制造成产品的零部件，从而可以对所设计的产品进行快速评价、修改与再设计，即能在较短的时间内设计与研制出符合设计者与用户需求的新产品。从而有效地缩短了新产品的研发周期，降低了产品的研发成本，在一定程度上最大限度地避免了产品研发失败的风险，提高了企业的竞争力。

一、快速成型技术的发展历程

从材料的加工制造史上可以看出，很早以前就有“材料叠加成型”的加工制造设想。1892 年 J. E. Blather 的美国专利（#473901）中，建议用分层制造法加工地形图。这种方法的基本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，将其粘结在一起，然后将每一层面熨平，从而得到最终的三维地形图。1902 年 Carlo Baese 的美国专利（#774549）中，提出了用光固化聚合物加工制造塑料件的原理，这是第一种现代快速成型技术——立体平板印刷术（Stereo Lithography）的初步设想。20 世纪 50 年代之后，世界上就先后涌现出了几百个有关快速成型技术的专利，其中 1976 年 Paul LDimatteo 的美国专利（#3932923）中，明确地提出先用轮廓跟踪器将三维实体转化成 n 个二维轮廓薄片，然后将这些薄片用激光切割成型，最后用螺钉、销钉等将一系列薄片连接形成三维实体，如图 1-1 所示。以上这些设想都与现代 RP 技术的原理基本相似。

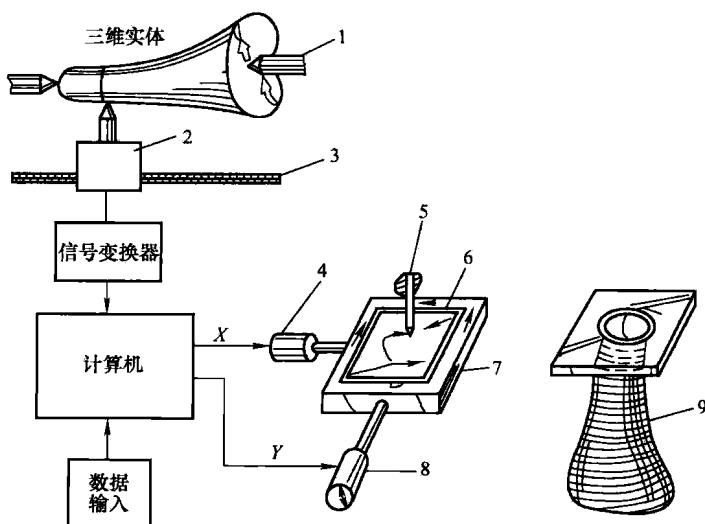


图 1-1 Paul 的分层形成法

- 1—顶针 2—轮廓跟踪器 3—导轨 4、8—伺服电动机
5—激光束 6—工件 7—工作台 9—二维轮廓薄片

虽然早期的专利提出了一些快速成型的基本原理,但不太完善,而且也没有实现快速成型机械及其使用原材料的商品化。20 世纪 90 年代,RP 技术有了根本性的发展,仅在 1986 ~ 1998 年,美国注册的专利就约有 24 个。首先是 Charles W Hull,1986 年在他的美国专利 (#4575330) 中,提出了用激光束照射液态光固化树脂进行分层制作三维实体的快速成型机的方案。1988 年美国 3D Systems 公司据此专利生产出第一台快速成型设备 SLA-250 (液态光固化树脂固化成型设备)。在此后的 10 多年当中,快速成型技术开始迅速发展,涌现出多种形式的快速成型技术与相应设备,如薄形材料选择性切割 (LOM)、熔丝堆积 (FDM) 和粉末材料选择性烧结 (SLS) 等,并且在工业、医疗及其他领域得到了广泛的应用。目前,全世界已拥有快速成型设备 12 000 多台,快速成型设备的制造公司有上百个,用快速成型设备进行对外服务的机构也有上千个。

二、快速成型技术在国内的发展状况

近年来国内的快速成型技术与水平有了质的飞跃,主要以西安交通大学、清华大学为代表。国内各快速成型技术在研发、设备的生产以及 RP 技术及其市场、应用与服务方面都取得了很大进展。

(一) 技术方面

在国际上发展起来的 RP 技术如 SLA、LOM、FDM、SLS 等,在国内基本都有单位进行了成功的开发,而且大多数关键部件都实现了国产化。例如 FDM 设备中的喷头结构,LOM 设备中的激光器等,设备的稳定性、可靠性和造型精度及质量都有了显著提高,成型材料的开发与性能也不断取得进步。此外,许多高校和研究机构还创新地开展了 RP 新技术、新设备的研究,清华大学在快速成型技术方面投入的精力最大,最近开发出低温冰型快速制造工艺和无模砂型制造工艺,大大拓宽了 RP 领域,其技术在上世界上处于领先地位。

(二) 市场方面

近年来,国内 RP 市场已从起步阶段逐步走向发展阶段,快速成型技术已逐渐成为一种通用的产品快速加工与制造的方法。目前,许多企业已经有了应用 RP 技术的设想或方案,应用行业主要集中在工业产品的样件制作领域,例如珠宝、家电、模具、玩具、汽车等新产品,新工艺品的开发与包装,以及外观要求较高的零部件或元器件的快速加工与制作上。

(三) 技术服务方面

目前,国内大部分企业购买 RP 设备的能力有限,可对单个小批量的 RP 原型件的需求量又很大。在这种需求的刺激下,RP 技术服务公司开始购买国外成熟的 RP 设备,用于开展三维实体数据的反求、快速成型技术及制造等服务,同时也扩大了 RP 技术的宣传面,在 RP 技术应用的深度和广度上都产生促进作用。

三、快速成型技术的基本流程与原理

(一) 快速成型技术的基本流程

快速成型技术是近年快速发展起来的、直接利用三维实体造型软件快速生成模型或零件实体的技术总称。用快速成型技术制作的产品样件或模型，俗称为 RP 手板。主要是运用激光切割叠加或激光粉末烧结技术、分层实体造型、熔融挤出实体造型或光固化造型等方式生成产品的模型或样件，图 1-2 所示为快速成型技术的基本流程图。

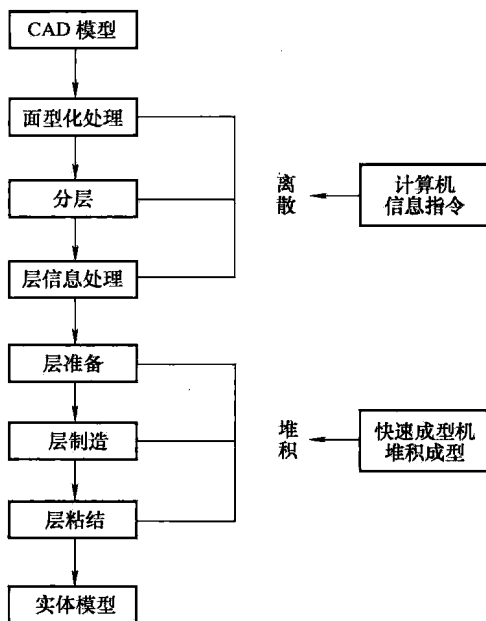


图 1-2 快速成型技术的基本流程图

(二) 快速成型技术的基本原理

RP 技术是集 CAD 技术、数控技术、材料科学、机械工程、电子技术和激光等技术于一体的综合技术，是实现零件或产品设计从二维到三维实体快速制造的一体化成型技术。RP 技术有多种快速成型的工艺方法，目前较为成熟并广泛采用的有光固化成型工艺、叠层实体制造工艺、激光烧结工艺、熔融沉积制造工艺等。

RP 技术的基本原理：首先设计出所需产品或零件的计算机三维模型（如 CAD 模型）；然后根据工艺要求，按照一定的规律将该模型离散为一系列有序的二维单元，通常在 Z 向将其按一定厚度进行离散（也称为分层），把原来的三维 CAD 模型变成一系列的二维层片；再根据每个层片的轮廓信息，输入加工参数，自动生成数控代码；最后由成型系统将一系列层片自动成型并将它们连接起来，得到一个三维物理实体。图 1-3 所示为 RP 技术的基本原理示意图。

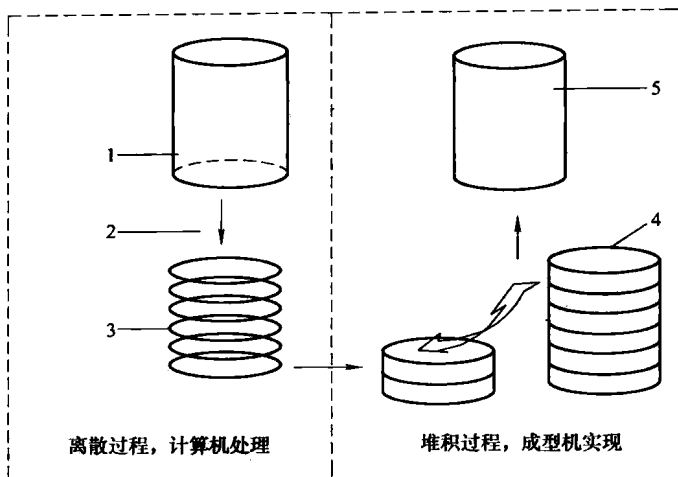


图 1-3 RP 技术基本原理示意图

1—CAD 实体模型 2—Z 轴向分层 3—CAD 模型分层数据文件 4—层层堆积、加工 5—后处理

目前 RP 系统的成型原理大致相似，工艺过程基本都包含以下几个方面。

1. 产品三维数字模型的构建 可以利用 CAD 软件直接进行三维数据模型的构建，也可以将已有的二维图形转换成 3D 模型；或对产品实体进行三维反求，得到三维的点云数据，再利用逆向工程原理来构造 3D 模型。

2. 三角网格的近似处理 构成产品的表面往往有一些不规则的自由曲面，加工前对模型要进行近似处理。

3. 三维模型的切片处理 根据选择合适的加工方向，在成型高度方向上用一系列一定间隔的平面切割近似后的模型，提取出二维截面的轮廓信息。

4. RP 成型的加工与制造 根据二维切片轮廓信息，在 RP 系统中成型头按照各截面轮廓信息做二维扫描运动，同时工作台做纵向移动，从而在工作台上一层层地堆积材料，同时将各层粘结，最终得到产品原型。

5. RP 成型件的后处理 对成型件进行打磨、抛光、涂挂等后处理，或放在高温炉中进行后烧结，进一步提高其强度。

根据 RP 基本原理，产品或零件快速成型的全过程可以用图 1-4 表示。

（三）RP 技术与传统加工方法的比较

根据现代成型学的观点，物体的主要成型方式可分为以下两大类：

1. 去除成型（Removal Forming） 运用分离的方法，把一部分材料有序地从基体上分离出去的成型方法。传统的机械加工方法，如车、铣、刨、磨、钻、电火花加工和激光线切割等都属于去除成型，去除成型是产品传统的加工方法。

2. 添加成型（Adding Forming） 又称堆积成型，它是利用机械、物理、化学等方式按照一定轨迹有序地添加材料的方法，最终将所需的产品堆积成型。

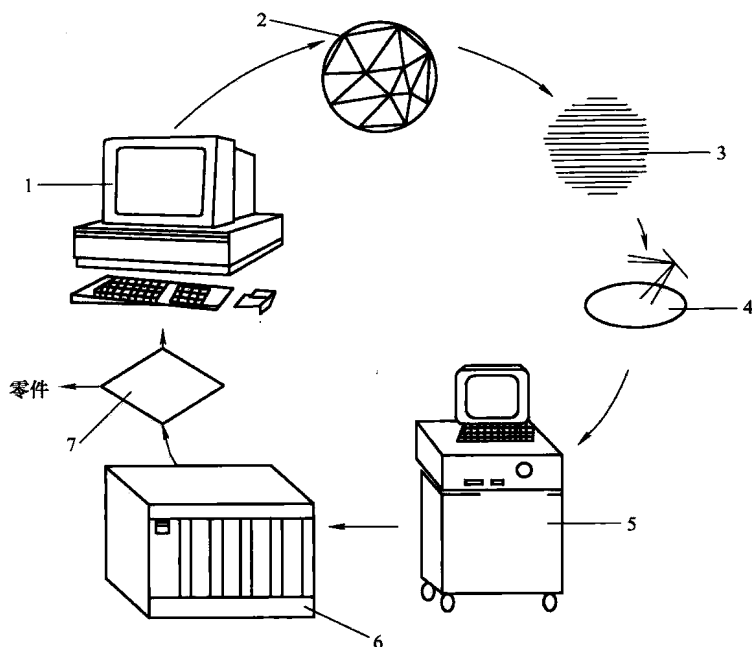


图 1-4 产品快速成型的全过程

1—三维 CAD 建模 2—三角网格化 3—分层处理 4—生成加工路径
5—RP 系统 6—原型制件后处理 7—最终的原型制件

快速成型技术属于添加成型，它在成型工艺上突破了传统的成型方法，通过快速自动的成型系统与计算机三维数据模型的有机结合，无需任何附加的模具或机械加工，就能够快速制造出各种形状复杂的原型或零件，可以使生产周期大大缩短，生产成本大幅度降低。在当前，它是一种非常有前景的新型快速制造技术。表 1-1 所示为两种主要成型方式的比较。

表 1-1 两种主要成型方式的比较

指标性能	传统机床加工	RP 加工
制造零件的复杂程度	受刀具或模具的限制，无法制造太复杂的曲面或异形深孔等	可制造任意复杂（曲面）形状的零件
材料利用率	产生切屑，利用率低	利用率高，材料基本无浪费
加工方法	去除成型，切削加工	添加成型，逐层加工
加工对象	个体（金属树脂片、木片等）	液体、图像、粉末、纸、其他
工具	切削工具	光束、热束

此外，与传统材料加工技术相比，RP 技术还具有以下鲜明的特点：

- (1) 数字化制造, 直接 CAD 模型驱动, 如同使用打印机一样方便快捷。
- (2) 高度柔性和适应性。可以制造任意复杂形状的零件。
- (3) 快速。从 CAD 设计到零件加工完毕, 只需几十分钟至几小时 (若物体较大时)。
- (4) 材料类型丰富多样且利用率高, 包括树脂、纸、工程蜡、工程塑料 (ABS 等)、陶瓷粉、金属粉、砂等, 由于其加工概念的新颖性, 累加加工工艺决定了其材料利用率几乎达到 100%。
- (5) 产品的单价基本与复杂程度无关。图 1-5a 为产品单价与复杂程度的关系, 图 1-5b 为产品单价与制造数量的关系。
- (6) 应用领域广泛。可在航空、机械、家电、建筑、医疗等多个领域应用。

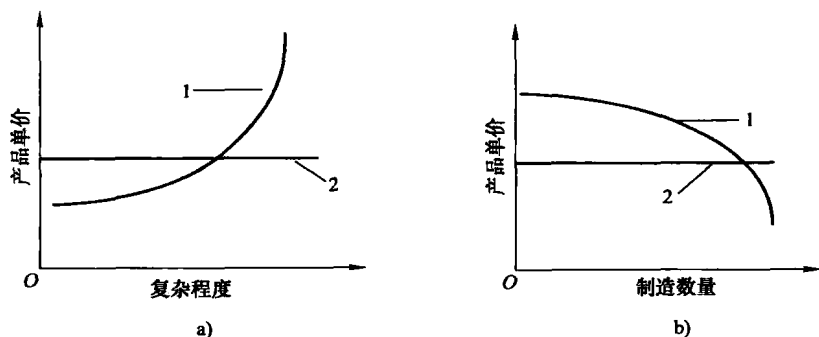


图 1-5 产品单价与复杂程度及制造数量的关系

a) 产品单价与复杂程度的关系 b) 产品单价与制造数量的关系

1—传统方法 2—RP

第二节 快速成型技术的市场及研究领域

RP 技术之所以能够满足当今新产品研发的各种新要求, 主要因为它具有以下显著特点:

1. 快速性 由于 RP 技术不必采用传统的加工机床和模具, 只需传统加工方法 30% 左右的工时和 35% 左右的成本, 就能直接、快速地制造出产品或模型, 从而大大缩短了新产品的研发周期。因此 RP 技术非常适合于新产品的研发与管理。

2. 设计与制造的一体化 在传统的产品研发过程中, 设计与制造是分开进行的, 因此常常会发生在制造中发现设计的问题, 导致重新开始设计的情况。在 RP 中, 由于采用离散与堆积的加工工艺, 使得 CAD 和 CAM 能够很好地结合, 从而节省工时和研发费用。

3. 自由成型制造 制造过程中不需要专用工具, 只是根据零件的形状进行快

速制造,大大缩短了新产品的研发与试制时间。与此同时,由于 RP 是采用先离散,然后分层制造,因此可以不考虑零件的复杂程度,就能将复杂的三维制造简化为二维叠加成型。

4. 材料的广泛性 RP 技术所用材料相当广泛:光固化树脂材料,SLA 使用涂有热熔胶的纸,SLS 使用金属或非金属粉末材料,FDM 使用 ABS、石蜡和塑料等丝束材料,根据用户的需求选择合适的 RP 设备与相应的材料。

5. 技术的高度集成 RP 技术是计算机、三维软件数据、激光和全新材料技术的综合集成,是一项只有在计算机技术、数控技术、激光技术和材料技术高度发展的今天才能得以发展的高新技术,因此具有鲜明的时代特征。

一、应用 RP 技术开发新产品的市场

概括起来,应用 RP 技术开发新产品主要有以下几点优势:

1. 可按用户要求快速地进行产品外形设计 在 Pro/E 等三维软件环境下设计产品与用户的交流存在一定的局限性。一方面,顾客对产品并没有完全的把握,需要制造出一个实实在在的实体模型进行评价;另一方面,设计者也需要一个三维的实体模型使消费者进行新产品的体验。因此一个很好的办法就是采用 RP 技术快速制造出所需的实体模型。

2. 便于产品进行功能测试和评价 虽然产品各零件之间的装配问题可在专用分析软件中发现,但是仍不能满足产品的功能验证和设计评审需要。因此需要用 RP 技术快速制造出产品各零部件,然后将这些零部件装配成产品或样件进行功能测试和评价,这样可以最大限度提高设计质量。

3. 将设计与装配等方面出现的问题消灭在开模之前 通过对产品和样件进行验证,能及时发现设计与装配当中的问题,并改进设计,将所有问题解决在产品或样件的模具制造之前。

4. 缩短产品的研制开发周期 RP 技术的应用使得设计与制造融为一体,设计方案能在很短时间内变成实物,便于尽快验证、定型和得到用户的认可。

5. 大大提高新产品研发的一次成功率,从而降低研发成本 在短时间内可对设计进行反复多次修改、核实以及优化。

6. 降低产品复杂程度对制造的限制 由于 RP 技术属于离散与分层制造,因此可将产品制造过程分解为简单的二维制造,而不受产品复杂内部结构的限制,降低制造的难度,并解决制造精度的问题。

应用 RP 技术开发新产品的市场,能够缩短产品的开发周期,降低开发成本,提高制造精度。因此 RP 技术能够完全适合市场变化并满足新产品开发提出的各种要求,具有很大的实用价值。

二、RP 技术的研究领域

1. 快速模具(Rapid Tooling, RT)制作 在模具制造业,可以利用 RP 技术快速制得原型,再结合硅胶模、金属冷喷涂、精密铸造、电铸、离心铸造等方法生产

出模具；快速成型件也可以直接或间接制得 EDM 电极，可用于电火花加工生产模具；此外，RP 技术制得的快速原型也可以直接作为模具。

2. 医学应用是 RP 技术一个很重要的应用方向 除了应用于医疗器械的设计开发方面，RP 技术已经运用于人体器官（如骨骼，心脏等）、种植体（如人工关节等）的原型制作。目前，RP 技术应用于医疗领域，使得医学水平和医疗手段不断提高。以数字影像技术为特征的临床诊断发展迅速，如 CT、磁共振成像 MRI、三维 B 超等技术，对人体进行局部扫描可获得截面图像，再对器官进行计算机三维建模，然后将这些数据传输到 RP 系统建造实体器官模型进行科学研究，这些模型能实现不通过开刀就可观看病人骨结构、种植体等。目前，国内外很多外科如颅外科、骨外科、神经外科、口腔外科、整形外科和头颈外科等都已经开始应用 RP 技术，帮助外科医生进行教学、诊断、手术规划等。

三、RP 技术的特点和使用范围

(1) 极适合于形状复杂、具有不规则曲面零件的加工，零件的复杂程度与制造成本无关。

(2) 能减少对熟练技术工人的需求。

(3) 几乎无废弃材料，是一种环保型制造技术。

(4) 成功地解决了计算机辅助设计中三维造型的实体化。

(5) 系统柔性高，只需要修改三维 CAD 模型，就能快速制造出各种不同形状的零件。

(6) 技术与制造集成，设计与制造一体化。

(7) 不需要专用的工装夹具、模具，大大缩短了新产品的开发时间。

以上特点决定了 RP 技术主要适合于新产品开发，快速单件及小批量零件或产品的制造，具有复杂曲面形状的零件制造，模具设计与制造；也适合于难加工材料的制造、外形设计与检验、装配检验、订货等环节。

四、RP 技术的研究现状

RP 技术从产生到现在，发展十分迅速。与过去相比，RP 在制造能力方面有了很大的提高，应用领域逐步扩展。随着 RP 技术的迅速发展，世界上研究 RP 技术的机构也越来越多，目前在互联网上有数百家。近年来，有关 RP 方面的书籍、杂志及国际会议层出不穷，有关 RP 方面的学术刊物也较多，例如《快速成型制造》、《快速成型制造报告》以及《虚拟原型制造杂志》等。有关 RP 技术的相关学术会议有国际快速成型与制造会议、全美快速成型制造会议、欧洲快速成型与制造技术会议、国际制造过程自动化会议等。

目前，在 RP 技术领域，美国的 RP 技术一直处于领先地位，各种工艺大多在美国最先出现，其研究、开发的工艺种类也最多。例如，美国 3D System 公司采用的将金属粉末和粘结剂混合后的烧结技术；Sanders Prototype 公司采用的基于热熔金属喷射技术的 Pattern Master 是制作速度最快的 RP 设备之一；此外，美国 Helisys

公司研制的叠层实体制造设备在国际市场的同类产品中所占的比重也是最大的。美国研究 RP 模型材料的高校主要有: Dayton 大学、Michigan 大学、Virginia 技术大学等。此外, Virginia 大学、Clemson 大学、Georgia 大学快速成型与制造中心等单位也从事 RP 技术的研究、开发与服务方面的工作。从事 RP 设备系统开发研究的美国高校主要有麻省理工大学、Stanford 大学等。

日本在 RP 技术上的研究仅次于美国,例如日本 AUTOSTRADE 公司研发出采用 680nm 左右波长半导体激光器为光源的 RP 系统;日本大阪大学国立先进工业科学与技术研究所采用 SLM 技术制造出 Ti 人骨;日本 Riken Institute 于 2000 年研制出基于喷墨打印技术的能制作出彩色原型件的 RP 设备。

欧洲也有许多研究机构和厂家开展多种 RP 技术的研究,例如德国 EOS 公司采用的将多种不同熔点的金属粉末混合的烧结技术;芬兰 Helsinki 技术大学、德国 Fraunhofer 研究所、德国 MCP 公司、英国 Nottingham 大学、荷兰 Delft 技术大学等都开展了相关的研究与开发工作。

在国内,RP 技术研究开始于 20 世纪 90 年代,清华大学、西安交通大学、华中科技大学、北京航空工艺研究所等单位在 RP 成型理论与设备的研究方面都具有一定的、成熟的研究成果。

第三节 快速成型技术的用途

由前面叙述得知,RP 技术与传统材料加工技术有本质的区别。它具有以下鲜明的特点:高柔性的数字化制造,技术的高度集成,快速性,所用的材料类型丰富多样,包括树脂、纸、工程蜡、工程塑料 ABS、陶瓷粉、金属粉、砂等,可以在航空、机械、家电、建筑、医疗等各个领域应用。此外,RP 技术是逐层堆积成型的,因此它有可能在成型的过程中改变成型材料的组分,制造出具有材料梯度的模型产品,这点是其他传统工艺难以做到的,所以也是 RP 技术与传统工艺相比具有的很大优势之一。

一、快速成型技术的作用

当前,RP 技术与快速模具制造技术的出现引起了制造业领域的一场革命,它不需要借助任何专门的辅助工具,就能够直接将三维 CAD 模型快速地加工制造成三维实体模型,而产品造价几乎与其外观复杂程度无关。特别适合于复杂结构零件的快速制造,并且制造柔性极高,随着各种 RP 技术的进一步发展,零件精度也不断提高。随着 RP 成型材料种类的增加以及材料性能的不断改进,RP 技术的应用领域也在不断扩大,用途也越来越广泛,目前其主要用途可以概括为以下几方面。

(一) 使三维设计原型实物化

为提高产品的设计质量,缩短产品的试制周期,RP 技术可在数小时或 1~2 天