

快速成型与快速模具 制造技术及其应用

第3版

王广春 赵国群 编著



免费提供电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



快速成型与快速模具 制造技术及其应用

第 3 版

王广春 赵国群 编著



机械工业出版社

本书详细介绍了目前典型的快速成型技术的原理、特点、工艺过程、应用及关键技术,包括光固化快速成型工艺、叠层实体快速成型工艺、选择性激光烧结快速成型工艺、熔融沉积快速成型工艺、三维打印快速成型及其他快速成型工艺、快速成型技术中的数据处理、基于快速原型的软模快速制造技术、基于快速原型的金属钢质硬模快速制造技术、快速成型制造技术的应用、基于快速成型技术的产品快速设计与制造系统。

本书可作为高等院校机械类和材料加工类专业本科与研究生的教材和参考书,同时也可供相关工程技术人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

快速成型与快速模具制造技术及其应用/王广春,赵国群编著.—3版.

—北京:机械工业出版社,2013.1

ISBN 978-7-111-39861-5

I. ①快… II. ①王…②赵… III. ①成型—高等学校—教材②模具—制造—高等学校—教材 IV. ①TG39②TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第226656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:周国萍 责任编辑:周国萍 吕德齐

版式设计:姜婷 责任校对:申春香

封面设计:路恩中 责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2013年1月第3版第1次印刷

169mm×239mm·17.75印张·350千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39861-5

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

编辑热线:(010) 88379770

电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

目 录

第3版前言

第1章 概论	1
1.1 快速成型技术的早期发展	2
1.2 快速成型技术的主要方法及分类	5
1.3 快速成型技术的特点及优越性	7
1.3.1 快速成型技术的特点	7
1.3.2 快速成型技术的优越性	8
1.4 快速成型技术的发展趋势	9
第2章 光固化快速成型工艺	14
2.1 光固化快速成型工艺的基本原理和特点	14
2.2 光固化快速成型材料及设备	16
2.2.1 光固化快速成型材料	16
2.2.2 光固化快速成型设备	24
2.3 光固化成型的工艺过程	28
2.4 光固化成型的精度及效率	32
2.4.1 光固化成型中树脂的收缩变形	32
2.4.2 光固化快速成型的精度	34
2.4.3 光固化成型的制作效率	44
2.5 微光固化快速成型制造技术	47
2.5.1 基于单光子吸收效应的 μ -SL技术	47
2.5.2 基于双光子吸收效应的 μ -SL技术	50
第3章 叠层实体快速成型工艺	54
3.1 叠层实体制造工艺的基本原理和特点	54
3.2 叠层实体快速成型的材料与设备	56
3.2.1 叠层实体快速成型材料	56
3.2.2 叠层实体快速成型设备	58
3.3 叠层实体快速成型的工艺过程	61
3.4 提高叠层实体成型制作质量的措施	64
3.5 叠层实体制造工艺后置处理中的表面涂覆	68
3.6 新型叠层实体快速成型工艺方法	71
第4章 选择性激光烧结快速成型工艺	74
4.1 选择性激光烧结快速成型工艺的基本原理与特点	74

4.2 选择性激光烧结快速成型材料及设备	76
4.2.1 选择性激光烧结快速成型材料	76
4.2.2 选择性激光烧结快速成型设备	79
4.3 选择性激光烧结工艺过程	82
4.4 高分子粉末烧结件的后处理	87
4.5 选择性激光烧结工艺参数	89
第5章 熔融沉积快速成型工艺	91
5.1 熔融沉积快速成型工艺的基本原理和特点	91
5.2 熔融沉积快速成型材料及设备	93
5.2.1 熔融沉积快速成型材料	93
5.2.2 熔融沉积快速成型制造设备	95
5.3 熔融沉积快速成型工艺过程	99
5.4 熔融沉积快速成型工艺因素分析	103
5.5 气压式熔融沉积快速成型系统	105
第6章 三维打印快速成型及其他快速成型工艺	108
6.1 三维喷涂粘接快速成型工艺	108
6.2 喷墨式三维打印快速成型工艺	112
6.3 三维打印快速成型设备及材料	112
6.4 其他快速成型工艺	124
第7章 快速成型技术中的数据处理	128
7.1 CAD 三维模型的构建方法	128
7.1.1 概念设计	128
7.1.2 反求工程	129
7.2 STL 数据文件及处理	132
7.2.1 STL 文件的格式	132
7.2.2 STL 文件的精度	135
7.2.3 STL 文件的纠错处理	136
7.2.4 STL 文件的输出	140
7.2.5 分割与拼接处理软件	145
7.3 三维模型的切片处理	153
7.3.1 切片方法	153
7.3.2 切片算法	156
7.4 STL 数据编辑与处理软件 Magics RP	158
7.4.1 Magics 软件编辑功能	158
7.4.2 Magics 软件修复功能	159
7.4.3 Magics 软件施加支撑及切片	160
7.5 CT 图像数据处理软件 Mimics	163
7.5.1 Mimics 软件简介	164

7.5.2 Mimics 软件应用实例	165
第8章 基于快速原型的软模快速制造技术	168
8.1 快速模具的分类及基本工艺流程	168
8.2 硅橡胶模具快速制造技术	170
8.2.1 硅橡胶模具的特点	171
8.2.2 基于快速原型的硅橡胶模具制作工艺	171
8.2.3 硅橡胶模具制作的若干问题	173
8.2.4 经济型硅橡胶模具制作的一种工艺方法	175
8.2.5 硅橡胶模具的应用	178
8.3 电弧喷涂快速模具制造技术	179
8.3.1 电弧喷涂快速制模工艺	180
8.3.2 电弧喷涂制模关键技术及工艺参数控制	190
8.3.3 电弧喷涂模具的注塑应用	194
8.4 环氧树脂模具快速制造技术	197
8.4.1 环氧树脂模具制作工艺	197
8.4.2 环氧树脂配方	199
8.5 纤维增强聚合物压制模	200
第9章 基于快速原型的金属钢质硬模快速制造技术	203
9.1 KelTool™法快速制模技术	203
9.1.1 KelTool™法的基本原理及工艺流程	203
9.1.2 KelTool™法的工艺特点	204
9.1.3 KelTool™法的应用	205
9.2 RapidTool™法快速制模技术	206
9.2.1 RapidTool™法的工艺原理及工艺流程	206
9.2.2 RapidTool™法的工艺特点	207
9.2.3 RapidTool™法的工艺制模材料及设备	207
9.2.4 RapidTool™法工艺的应用	208
9.3 DirectTool™法快速制模技术	209
9.3.1 DirectTool™法的工艺原理及工艺流程	209
9.3.2 DirectTool™法的工艺制模设备	209
9.3.3 DirectTool™法的工艺材料	210
9.4 激光近成型技术	212
9.4.1 激光近成型技术的基本原理	212
9.4.2 激光近成型技术的特点	213
9.4.3 激光近成型技术的制模设备及应用	213
9.5 ExpressTool™法快速制模技术	215
9.5.1 ExpressTool™法制模工艺流程及相关技术问题	215
9.5.2 ExpressTool™法制模工艺特点及应用	217

9.6 其他快速制模技术	218
9.6.1 电铸镍壳-陶瓷背衬模 (NCC Tooling)	218
9.6.2 气相沉积镍壳-背衬模制造工艺	220
9.6.3 熔模铸造金属模制造工艺	222
9.6.4 直接金属三维打印制模技术	223
第 10 章 快速成型制造技术的应用	225
10.1 引言	225
10.2 快速成型的基本用途	226
10.3 快速成型技术的应用领域	231
10.4 快速成型技术在铸造领域的应用	238
10.4.1 熔模铸造	238
10.4.2 砂型铸造	241
10.4.3 石膏型铸造	242
10.4.4 直接模壳铸造	242
10.5 快速成型技术在医学领域的应用	243
10.6 快速成型技术在生物工程领域的应用	252
第 11 章 基于快速成型技术的产品快速设计与制造系统	258
11.1 基本功能及结构	258
11.2 系统软硬件资源	259
11.3 产品快速设计与制造系统的构建	261
11.4 产品快速设计与制造系统的应用	262
11.4.1 产品快速设计与制造实例	262
11.4.2 产品结构优化设计实例	266
参考文献	269

第 1 章 概 论

从 20 世纪 90 年代开始,市场环境发生了巨大变化。一方面表现为消费者需求日益主体化、个性化和多样化;另一方面则是产品制造商们都着眼于全球市场的激烈竞争。面对市场,不但要迅速地设计出符合人们消费需求的产品,而且还必须很快地生产制造出来,抢占市场。随着计算机技术的迅速普及和 CAD/CAM 技术的广泛应用,产品从设计造型到制造都有了很大发展,而且产品的开发周期、生产周期、更新周期越来越短。从 20 世纪开始,企业的发展战略已经从 60 年代的“如何做得更多”、70 年代的“如何做得更便宜”、80 年代的“如何做得更好”发展到 90 年代的“如何做得更快”。因此面对一个迅速变化且无法预料的买方市场,以往传统的大批量生产模式对市场的响应就显得越来越迟缓与被动。快速响应市场需求,已成为制造业发展的重要走向。为此,自 20 世纪 90 年代以来,工业化国家一直在不遗余力地开发先进的制造技术,以提高制造工业的水平。计算机、微电子、信息、自动化、新材料和现代化企业管理技术的发展日新月异,产生了一批新的制造技术和制造模式,制造工程与科学取得了前所未有的成就。

快速成型(也称快速原型)制造技术(Rapid Prototyping & Manufacturing, RP&M)就是在这种背景下逐步形成并得以发展的。它借助计算机、激光、精密传动和数控等现代手段,将计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)集成于一体,如图 1-1 所示,根据在计算机上构造的三维模型,能在很短时间内直接制造产品模型或样品,无需传统的机械加工机床和模具。该项技术创立了产品开发生的新模式,使设计师以前所未有的直观方式体会设计的效果,感性而迅速地验证和检查所设计的产品结构和外形,从而使设计工作进入了一种全新的境界,改善了设计过程中的人机交流,缩短了产品开发的周期,加快了产品更新换代的速度,降低了企业投资新产品的风险。

快速成型技术制作的原型,作为模型可用于新产品的外观评估、装配检验及功能检验等,作为样件可直接替代机加工或者其他成型工艺制造的单件或小批量的产品,也可用于硅橡胶模具的母模或熔模铸造的消失型等,从而批量地翻制塑料及金属零件。用这种方法制造样品较传统法的显著优点是,制造周期大大缩短(由几周、几个月缩短为若干个小时),成本大大降低。

以 RP&M 原型作母模来翻制模具的快速模具制造技术(Rapid Tooling, RT),进一步发挥了快速成型制造技术的优越性,可在短期内迅速推出满足用户需求的一定批量的产品,大幅度降低了新产品开发研制的成本和投资风险,缩短了新

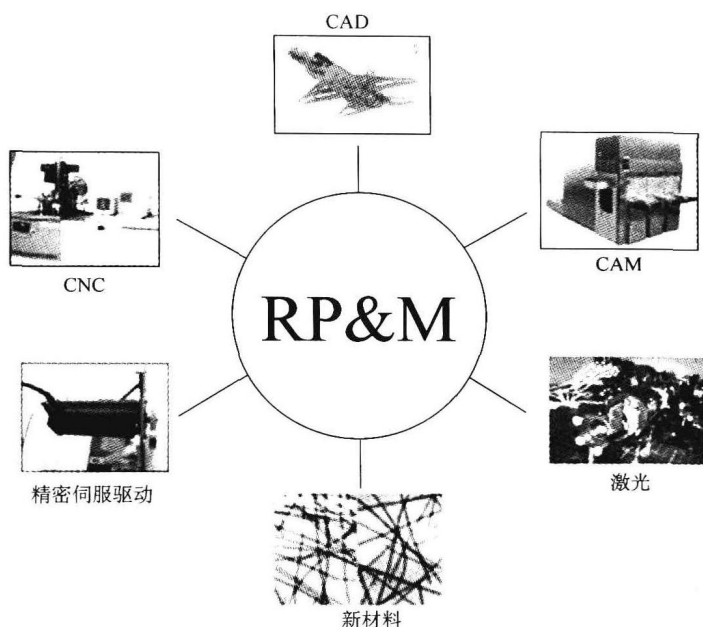


图 1-1 快速成型技术的支撑技术

产品研制和投放市场的周期，在小批量、多品种、改型快的现代制造模式下具有强劲的发展势头。随着快速成型软、硬件设备与快速成型材料的不断发展和完善，快速成型件的强度和精度得到不断提高，快速成型技术已经逐渐地深入到快速模具制造领域，基于快速成型方法制造各类简易、经济的快速模具已成为 RP&M 应用的热点，进一步提高了快速成型技术的效益。

1.1 快速成型技术的早期发展

快速成型技术的基本原理是基于离散的增长方式成型原型或制品。在历史上，很早以前就有“增长”这种制造方式。快速成型技术的早期根源可以追溯到早期的地形学工艺领域。

早在 1892 年，Blather 在他的美国专利中曾建议用叠层的方法来制作地图模型。该方法包括将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上并沿轮廓线切割蜡片，然后堆叠系列蜡片产生三维地貌图。1940 年，Perera 提出相似的方法，即沿轮廓线切割硬纸板，然后堆叠，使这些纸板形成三维的地貌图。1964 年，Zang 进一步细化了该方法，建议用透明的纸板，且每一块均带有详细的地貌形态标记。1972 年，Matsubara 提出在上述方法中使用光固化材料，将光敏聚合树脂涂到耐火颗粒上（例如石墨粉或沙砾），然后这些耐火颗粒被填充到叠层，加热形成与叠层对应的板

层, 光线有选择地投射或扫射到这个板层, 将规定的部分硬化, 没有扫描或没有硬化的部分被某种溶剂溶化, 用这种方法形成的薄板层随后不断地堆积在一起形成模型。1976 年, DiMatteo 进一步明确地提出, 这种堆积技术能够用来制造用普通机加工设备难以加工的曲面, 如螺旋桨、三维凸轮和型腔模具等。在具体实践中, 通过铣床加工成沿高度标示的金属层片, 然后通过粘接成叠层状, 采用螺栓和带锥度的销钉进行联接加固, 制作了型腔模, 如图 1-2 所示。

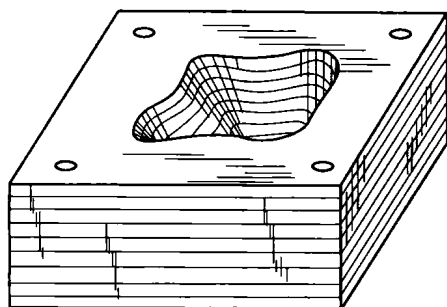


图 1-2 由 DiMatteo 制作的型腔模叠层模型

1977 年, Swainson 在他的美国专利中提出, 通过选择性的三维光敏聚合物体激光照射直接制造塑料模型工艺。同时, Battelle 实验室的 Schwerzel 也进行了类似的工作。1979 年, 日本东京大学 Nakagawa 教授开始用薄板技术制造出实用的工具, 如落料模、成型模和注塑

模等。其中特别值得一提的是, Nakagawa 教授提出了注塑模中复杂冷却通道的制作可以通过这种方式来实现。1981 年, Hideo Kodama 首先提出了一套功能感光聚合物快速成型系统, 应用了如下三种不同的方法制作叠层:

1) 用过滤罩控制 UV 光源的照射面积, 并且将模型向下浸入到光敏聚合物中来获得新的叠层。

2) 过滤罩位于缸底, 向上拉动模型来得到新的叠层。

3) 采用 1) 中的方法浸渍模型, 但是利用 x - y 平面坐标移动和光学纤维来照射新的叠层。

除上述描述的以外, 在快速成型技术和方法发展过程中, 还出现了一系列具有重要价值的专利技术。表 1-1 列出了其中的部分专利。

表 1-1 快速成型技术和方法发展过程中出现的部分专利

专 利 人	题 目	日 期	国 家
Housholder	成型工艺	1979. 12	美 国
Murutani	光学成型方法	1984. 05	日 本
Masters	计算机自动制造工艺和系统	1984. 07	美 国
Andre et al	制作工业零部件的设备	1984. 07	法 国
Hull	通过光固化成型制作三维物体的设备	1984. 08	美 国
Pomerantz et al	三维制图与模型设备	1986. 06	以色列
Feygin	以叠层的方式整体制作模型的设备与方法	1986. 06	美 国
Deckard	选择烧结方法制作模型的设备与方法	1986. 10	美 国
Fudim	通过光固化聚合物来制成三维物体的方法及设备	1987. 02	美 国
Arcella et al	浇注成型	1987. 03	美 国

(续)

专 利 人	题 目	日 期	国 家
Crump	制作三维物体的设备及方法	1989.10	美 国
Helinski	通过粒子沉积制作三维模型的方法	1989.11	美 国
Marcus	三维计算机控制的选择性气流沉积	1989.12	美 国
Sachs et al	三维印刷	1989.12	美 国
Levent et al	热喷涂沉积制作三维模型的方法及设备	1990.12	美 国
Penn	制作三维模型的系统、方法及工艺	1992.06	美 国

在快速成型技术和设备的早期商业开发中, Willeme 光刻实验室从 1961 年到 1968 年获得了商业成功。但是, 由于难以克服光刻设备需要手工雕刻的劳动力问题, Wiueme 光刻实验室很快就脱离了商界。后来进行的著名的商业尝试是 1977 年 Swainson 的 Formagraphic 发动机公司, 该公司后来与 Batlle 实验室合作更名为 Omtec 复制公司。1977 年 Dimatteo 成立了名为 “Solid Photography” 公司, 1981 年 Solid photography 改名为 Robotic Vision。Solid photography 和 Solid Copier 公司作为 Robotic Vision 的附属公司, 运行至 1989 年。

表 1-2 给出了早期 RP 系统商业开发的标志性的开发商、工艺和起始时间等。1988 年, 当 3D Systems 公司将 SLA—250 光固化设备系统运送给 3 个用户时, 标志着快速成型设备的商品化正式开始。美国在快速成型设备商业化的过程中走在欧洲各国和日本等国家的前面, 而且美国有多种不同的成型工艺方法, 而在日本, 除 Kira 公司以外, 均采用激光光敏聚合物工艺。

表 1-2 早期 RP 系统商业开发

公 司	国 别	成 型 工 艺	开始时间	出售时间
Aaroflex	美 国	光固化成型	1995	不详
BPM	美 国	喷墨技术	1989	1995
DTM	美 国	选择性激光烧结	1987	1992
DuPont Somos	美 国	光固化成型	1987	不祥
Helisys	美 国	薄板成型	1985	1991
Light Sculpting	美 国	光掩膜技术	1986	不祥
Quadrax	美 国	光固化成型	1990	1990
Sanders Prototyping	美 国	喷墨技术	1994	1994
Soligen	美 国	3D 印刷	1991	1993
Stratasys	美 国	熔融沉积	1988	1991
3D Systems	美 国	光固化成型	1986	1988
CMET	日 本	光固化成型	1988	1990
Cubital	以色列	照相工艺学	1987	1991
Denken	日 本	光固化成型	1985	1993
DMEC	日 本	光固化成型	1990	1990

(续)

公 司	国 别	成 型 工 艺	开始时间	出售时间
EOS	德 国	光固化成型、选择性激光烧结	1989	1990
Fockele&Schwarze	德 国	光固化成型	1991	1994
Kira	日 本	薄板技术	1992	1994
Meiko	日 本	光固化成型	1991	1994
Mitsui	日 本	光固化成型	1991	1991
Sparx	瑞 典	薄板技术	—	1994
Teijin Seiki	日 本	光固化成型	1991	1992
Ushio	日 本	光固化成型	—	1994

美国在 RP&M 系统（设备）研制、生产、销售方面占全球主导地位，生产 RP&M 设备系统的公司主要有 3D Systems（SLA 等）、Stratasys（FDM）、Helisys（LOM）、DTM（SLS）、Sanders（3D Plotting System）、Aeroflex（SLA）等。欧洲各国和日本等国家也不甘落后，纷纷进行 RP&M 技术、设备研制等方面的研究工作，如德国的 EOS、以色列的 Cubital 以及日本的 CMET 等公司。

我国从 20 世纪 90 年代初由清华大学、华中科技大学、西安交通大学等高校及其他科研院所在国家及地方政府资金支持下启动快速成型技术的研究工作。几所高校及部分研究机构在早期的快速成型设备及相应的材料开发中各有侧重，于 20 世纪 90 年代中后期陆续推出各自具有代表性的快速成型设备。经过十几年的应用及开发，不断地改进和创新，在光固化快速成型设备、粉末烧结快速成型设备、叠层实体快速成型设备中的关键技术指标已经达到了国际水平。由于国内开发的商品化快速成型设备与国际类似型号、规格的设备相比，价格便宜很多，因此也缓解了国内制造业对快速成型设备购置的资金压力，提高了国产快速成型设备的市场占有率，促进了该项技术在国内的应用与发展。

1.2 快速成型技术的主要方法及分类

快速成型的制造方式是基于离散堆积原理的累加式成型，从成型原理上提出了一种全新的思维模式，即将计算机上设计的零件三维模型，表面三角化处理，存储成 STL 文件格式，对其进行分层处理，得到各层截面的二维轮廓信息，按照这些轮廓信息自动生成加工路径，在控制系统的控制下，选择性地固化或烧结或切割一层层的成型材料，形成各个截面轮廓薄片，并逐步顺序叠加成三维实体，然后进行实体的后处理，形成原型，如图 1-3 所示。

快速成型技术是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一项高新技术，从 1988 年世界上第一台快速成型机问世以来，快速成型技术的工艺方法目前已有十余种。根据所使用的材料和建造技术的不同，目前应用比较广泛的方法有：采用光敏树脂材料

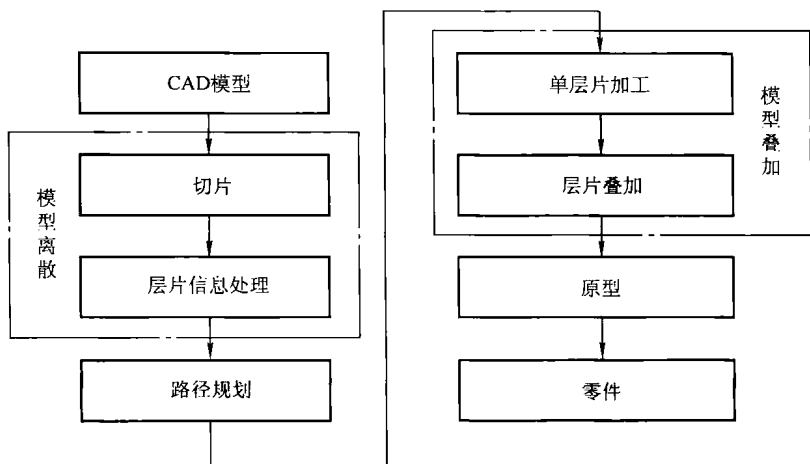


图 1-3 快速成型离散和叠加过程

通过激光照射逐层固化的光固化成型法（Stereolithography Apparatus, SLA）、采用纸材等薄层材料通过逐层粘接和激光切割的叠层实体制造法（Laminated Object Manufacturing, LOM）、采用粉状材料通过激光选择性烧结逐层固化的选择性激光烧结法（Selective Laser Sintering, SLS）和熔融材料加热熔化挤压喷射冷却成型的熔融沉积制造法（Fused Deposition Manufacturing, FDM）等。

各种快速成型制造工艺的基本原理都是基于离散的增长方式成型原型或制品。快速成型技术从广义上讲可以分成两类：材料累积和材料去除，但是目前人们谈及的快速成型制造方法通常指的是累积式的成型方法（材料累积），而累积式的快速成型制造方法通常是依据原型使用的材料及其构建技术进行分类的，如图 1-4 所示。

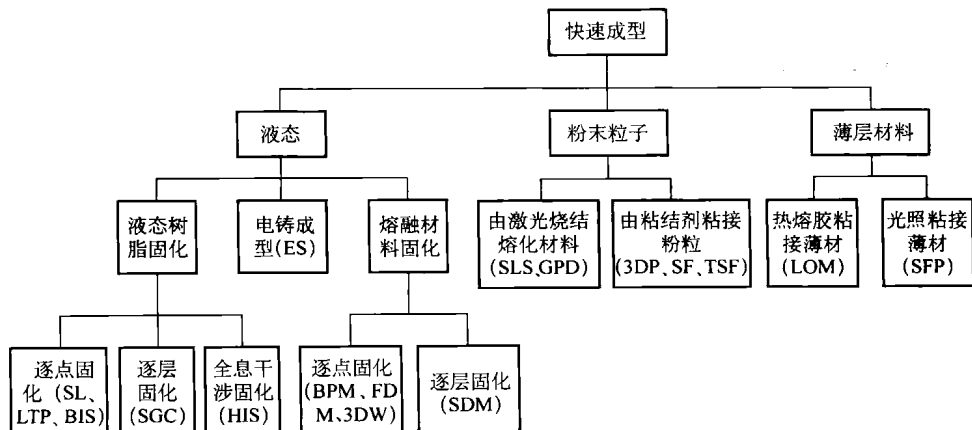


图 1-4 快速成型工艺方法的分类

1.3 快速成型技术的特点及优越性

1.3.1 快速成型技术的特点

快速成型技术的出现,开辟了不用刀具、模具而制作原型和各类零部件的新途径,也改变了传统的机械加工去除式的加工方式,而采用逐层累积式的加工方式,带来了制造方式的变革。从理论上讲,添加成型方式可以制造任意复杂形状的零部件,材料利用率可达100%。

和其他先进制造技术相比,快速成型技术具有如下特点:

1. 自由成型制造

自由成型制造也是快速成型技术的另外一个用语。作为快速成型技术特点之一的自由成型制造的含义有两个方面:一是指无需使用工具、模具而制作原型或零件,由此可以大大缩短新产品的试制周期并节省工具、模具费用;二是指不受形状复杂程度的限制,能够制作任意复杂形状与结构、不同材料复合的原型或零件。

2. 制造过程快速

从CAD数模或实体反求获得的数据到制成原型,一般仅需要数小时或十几小时,速度比传统成型加工方法快得多。该项技术在新产品开发中改善了设计过程的人机交流,缩短了产品设计与开发周期。以快速成型为母模的快速模具技术,能够在几天内制作出所需材料的实际产品,而通过传统的钢制模具制作产品,至少需要几个月的时间。该项技术的应用,大大降低了新产品的开发成本和企业研制新产品的风险。

随着互联网的发展,快速成型技术也更加便于远程制造服务,能使有限的资源得到充分的利用,用户的需求也可以得到最快的响应。

3. 添加式和数字化驱动成型方式

无论哪种快速成型制造工艺,其材料都是通过逐点、逐层以添加的方式累积成型的。无论哪种快速成型制造工艺,也都是通过CAD数字模型直接或者间接地驱动快速成型设备系统进行原型制造的。这种通过材料添加来制造原型的加工方式,是快速成型技术区别于传统的机械加工方式的显著特征。这种由CAD数字模型直接或者间接地驱动快速成型设备系统的原型制作过程,也决定了快速成型的制造快速和自由成型的特征。

4. 技术高度集成

当落后的计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)一直无法实现CAD与CAM一体化的时候,快速成型技术的出现较好地填补了CAD与CAM之间的缝隙。新材料、激光应用技术、精密伺服驱动技术、计算机

技术以及数控技术等的高度集成，共同支撑了快速成型技术的实现。

5. 突出的经济效益

快速成型技术制造原型或零件，无需工具、模具，也与原型或零件的复杂程度无关，与传统的机械加工方法相比，其原型或零件本身制作过程的成本显著降低。此外，快速成型的设计可视化、外观评估、装配及功能检验以及快速模具母模的功用，显著缩短了产品的开发与试制周期，带来了明显的时间效益。也正是因为快速成型技术具有突出的经济效益，才使得该项技术一出现，便得到了制造业的高度重视和迅速而广泛的应用。

6. 广泛的应用领域

除了制造原型外，该项技术也特别适合于新产品的开发、单件及小批量零件制造、不规则或复杂形状零件制造、模具设计与制造、产品的外观评估和装配检验、快速反求与复制，以及难加工材料的制造等。这项技术不仅在制造业具有广泛的应用，而且在材料科学与工程、医学、文化艺术及建筑工程等领域也有广阔的应用前景。

1.3.2 快速成型技术的优越性

在产品设计和制造领域应用快速成型技术，能显著地缩短产品投放市场的周期，降低成本，提高质量，增强企业的竞争能力。一般而言，产品投放市场的周期由设计（初步设计和详细设计）、试制、试验、征求用户意见、修改定型、正式生产和市场推销等环节所需的时间组成。由于采用快速成型技术之后，从产品设计的最初阶段开始，设计者、制造者、推销者和用户都能拿到实实在在的样品（甚至小批量试制的产品），因而可以及早地、充分地进行评价、测试及反复修改，并且能对制造工艺过程及其所需的工具、模具和夹具的设计进行校核，甚至用相应的快速模具制造方法做出模具，因此可以大大减少失误和不必要的返工，从而能以最快的速度、最低的成本和最好的品质将产品投入市场。具体而言，以下几方面都能受益。

1. 设计者受益

采用快速成型技术之后，设计者在设计的最初阶段，就能拿到实在的产品样品，在单个零件和装配部件的级别上，对产品设计进行校验和优化，并可在不同阶段快速地修改、重做样品，甚至做出试制用工具、模具及少量的产品。这将给设计者创造一个优良的设计环境，提供一个快捷、有力的物理模拟手段，无需多次反复思考、修改，即可尽快得到优化结果，从而能显著地缩短设计周期和降低成本。

2. 制造者受益

制造者在产品设计的最初阶段也能拿到实在的产品样品，甚至试制用的工具、模具及少量产品，这使得他们能及早地对产品设计提出意见，做好原材料、标准

件、外协加工件、加工工艺和批量生产用工具、模具等的准备工作，最大限度地减少失误和返工，大大节省工时、降低成本和提高产品质量。

3. 推销者受益

推销者在产品设计的最初阶段也能拿到实在的产品样品，甚至少量产品，这使得他们能据此及早、实在地向用户宣传和征求意见，以及进行比较准确的市场需求预测，而不是仅凭抽象的产品描述或图样、样本来推销。所以快速成型技术的应用可以显著地降低新产品的销售风险和成本，大大缩短其投放市场的时间和提高竞争能力。

4. 用户受益

用户在产品设计的最初阶段，也能见到产品样品甚至少量产品，这使得用户能及早、深刻地认识产品，进行必要的测试，并及时提出意见，从而可以在尽可能短的时间内，以最合理的价格得到性能最符合要求的产品。

1.4 快速成型技术的发展趋势

快速成型技术仍处于幼年时期，多数快速成型制造系统所制造的实体模型还不能用于实际工作零件，主要是由于材料及成本方面的限制。RP&M 系统所面临的主要问题包括：零件精度、有限的材料种类和力学性能，其中力学性能很大程度上取决于材料的种类及其性能。与常规由金属和工业塑料制造的零件相比，RP 制造的零件较脆弱，有些材料价格昂贵，并且对人体有害。目前，人们正在投入相当大的精力提高零件材料性能或开发更好的材料，主要是针对塑料和金属材料。

快速成型系统制作与 CAD 设计相同精度的零件的能力受许多因素的限制。在 RP 系统中最普通的误差源可分为数学误差及与工艺有关或与材料有关的误差。数学误差包括对零件表面形状的近似、沿叠层方向上的有限数目的分层而导致的阶梯状台阶痕。目前基于 CSG 实体造型的数据准备方法正处在开发研究之中，该方法可以精确地将零件表面形状输入 RP 系统。与工艺有关的误差影响 x - y 平面和 z 轴方向上的片层形状、不同片层的对准及整体三维形状。这些误差主要取决于 RP 设备的精度及操作者的经验。与材料有关的误差主要是收缩、翘曲。收缩是固化（冷却）材料时产生的，能够预计的尺寸收缩量可以通过修正 CAD 模型以补偿这种收缩误差。另外，由于收缩引起的内应力会导致零件变形和翘曲。减少收缩变形的措施有：选择合适的制造控制系统、开发或探索收缩率小的或不产生内应力的材料，以及应力释放方法等。这些方法与措施的研究需要研究者深刻了解材料性能及所采用工艺的特点。

快速成型与制造研究的目的是制造一种与计算机和 CAD 系统相连、附带一个“三维打印输出结构”的制造设备。例如，最近的研究方向之一是研究办公桌上

(DESK-TOP) 的快速成型与制造设备, 这种设备的尺寸与一台激光打印机相当, 并连到一台或几台计算机上。这种设备的主要用途是为产品设计者、市场分析者、工程和制造人员快速提供可以用来讨论、分析、论证的实体模型, 一旦发现设计有不当之处, 即刻修正设计方案, 并再次快速生成新的模型。

快速模具制造技术是 RP&M 的一个重要应用领域, 美国、英国等国家已投入相当的人力与财力从事这方面的研究与应用, 国内精力主要集中在 RP 设备方面的研究。可以肯定, 快速模具制造技术潜力巨大, 对于扩大 RP 技术与设备的应用范围至关重要。

从上述存在的问题及需求看, 目前比较明确的发展方向为:

1. 金属零件的直接快速成型

目前的快速成型技术主要用于制作非金属样件, 由于其强度等力学性能较差, 远远不能满足工程实际需求, 所以其工程化实际应用受到较大限制。从 20 世纪 90 年代初开始, 探索实现金属零件直接快速制造的方法已成为 RP 技术的研究热点, 国外著名的 RP 技术公司均在进行金属零件快速成型技术研究。可见, 探索直接制造满足工程使用条件的金属零件的快速成型技术, 将有助于快速成型技术向快速制造技术的转变, 能极大地拓展其应用领域。继续研究快速制模 (RT) 和快速制造 (RM) 技术, 一方面研究开发 RP 制件的表面处理技术, 提高表面质量和耐久性; 另一方面研究开发与注塑技术、精密铸造技术相结合的新途径和新工艺, 快速经济地制造金属模具、金属零件和塑料件。

2. 概念创新与工艺改进

目前, 快速成型技术的成型精度为 0.1mm 数量级, 表面质量还较差, 有待进一步提高。最主要的是成型零件的强度和韧性还不能完全满足工程实际需要, 因此如何完善现有快速成型工艺与设备, 提高零件的成型精度、强度和韧性, 降低设备运行成本是十分迫切的。此外, 快速成型技术与传统制造技术相结合, 形成产品快速开发与制造系统也是一个重要趋势, 例如快速成型技术结合精密铸造, 可快速制造高质量的金属零件。另一方面, 许多新的快速成型制造工艺正处于开发研究之中。在过去的几十年中, 许多研究者开发出了十几种成型方法, 基本上都基于立体平面化—离散—堆积的思路。这种方法还存在着许多不足, 今后有可能研究集“堆积”和“切削”于一体的快速成型方法, 即 RP 与 CNC 机床和其他传统的加工方式相结合, 以提高制件的性能和精度, 降低生产成本。还可能从 RP 原理延伸而产生一些新的快速成型工艺方法。

3. 数据优化处理及分层方式的演变

快速成型数据处理技术主要包括将三维 CAD 模型转存为 STL 格式文件和利用专用 RP 软件进行平面切片分层。由于 STL 格式文件的固有缺陷, 会造成零件精度降低; 此外, 由于平面分层所造成的台阶效应, 也降低了零件表面质量和成型精