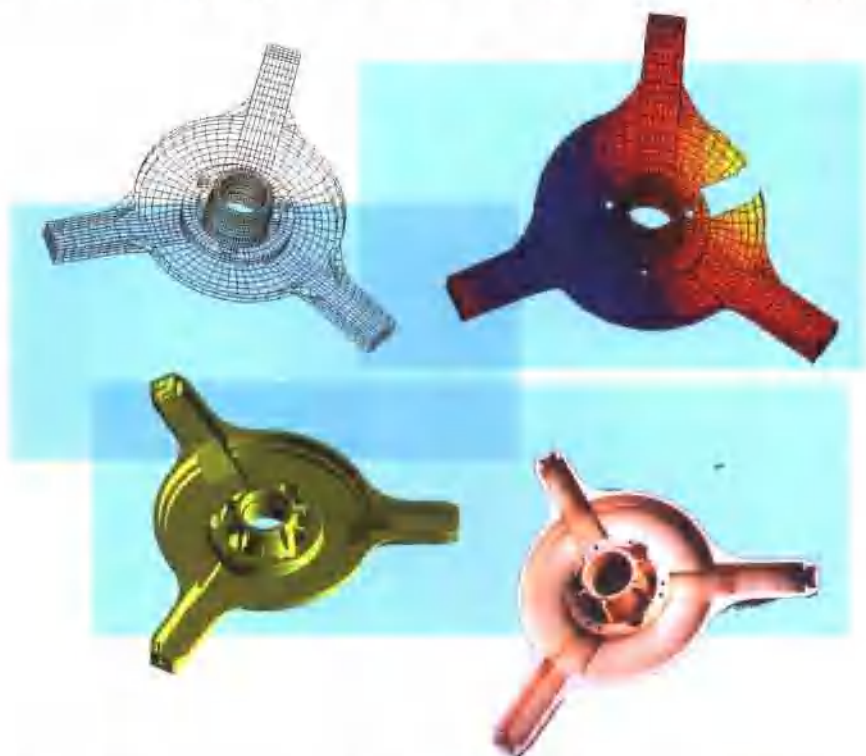


王广春 编著

快速原型技术 及其应用

Rapid Prototyping Technology and Its Application



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

快速原型技术及其应用

Rapid Prototyping Technology and Its Application

王广春 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书完整介绍了目前典型的快速原型技术(包括光固化快速原型技术、叠层实体快速原型技术、选择性激光烧结快速原型技术、熔融沉积快速原型技术等)的原理与特点,以及各种快速原型技术在汽车、航空、电器、医疗等领域的广泛应用,详细阐述了快速原型设备系统、原型制作材料、快速原型工艺实施中的数据处理等知识,尤其重点介绍了基于快速原型的快速模具制造技术以及以快速原型技术为核心的产品/模具快速设计与制造集成系统等内容。

本书可供机械及模具制造领域的工程技术人员参考,也可作为高等院校机械类和材料加工类专业本科与研究生教学的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

快速原型技术及其应用/王广春编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 2
ISBN 7-5025-8297-5

I. 快… II. 王… III. 成型-技术 IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 013134 号

快速原型技术及其应用

Rapid Prototyping Technology and Its Application

王广春 编著

责任编辑:张兴辉 刘丽宏

责任校对:李 林

封面设计:尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 1/4 字数 298 千字

2006年3月第1版 2006年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8297-5

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

自从 1988 年美国 3D Systems 公司推出第一台商品化快速原型设备 SLA250 以来的近 20 年间,快速原型技术在世界范围内得到了高度重视和迅速发展。

国内于 20 世纪 90 年代初在国家相关部委、地方政府与科技部门支持下,较快地启动了快速原型技术的研究与开发工作。刚开始时技术引进较多,1994 年以来,我国已有 20 多家企业或机构从国外引进快速原型设备,加快了企业的新产品开发,取得了巨大的经济效益。同时,一些高等院校和研究机构积极开展快速原型技术研究,并取得较大的进展,在典型快速原型工艺的设备商品化、原型材料、控制软件、成型工艺及关键技术等多方面都取得了显著进展,综合技术水平和规模得到了国际同行业的广泛认可。同时,随着我国机械制造行业的复苏,尤其是国内快速原型制造设备质量的提高和销售价格的降低,该项技术在国内的应用近年来也得到了迅速发展,也涌现出来了以该项技术为核心的生产力促进中心等服务机构。

编者所在单位从 1997 年底开始开展快速原型技术的研究工作,购置了多种快速原型制造设备、反求设备、真空注塑设备及 UG、CATIA、SURFACER、DEFORM、DYNIFORM、MOLDFLOW、MARC 等 CAD/CAE/CAM 软件,组建了以快速原型技术为核心的产品/模具快速设计与制造集成系统,近 8 年来,开展了大量的研究工作和广泛的对外服务工作,积累了许多有价值的研究成果和经验。同时,编者也相继开展了快速原型技术的研究生与本科生的教学工作,在传授该项技术过程中积累了较多的文献资料。

本书是据编者多年来从事快速原型技术研究与教学工作的积累编写而成的,内容包括快速原型工艺技术、快速原型设备与材料、快速原型的应用、快速原型工艺实施中的数据处理、基于快速原型的快速模具技术以及以快速原型技术为核心的产品/模具快速设计与制造集成系统等。在本书编写过程中,得到了所在单位同事和研究生们的大力支持,没有同事们多年来的鼎力协助,就没有本书体现出来的内容。

本书内容承蒙山东大学赵国群教授审阅,在此表示感谢。此外,中国矿业大学王延庆同志协助作者进行了本书第 12 章内容的整理。

由于时间仓促和水平有限,书中内容难免有不恰当之处,敬请读者批评指正。

编 者
2005 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 快速原型技术的早期发展	2
1.3 快速原型技术市场及学术领域	5
1.4 快速原型技术的主要方法及分类	6
1.5 快速原型技术的特点及优越性	7
1.5.1 快速原型技术的特点	7
1.5.2 快速原型技术的优越性	8
1.6 快速原型技术的发展趋势	9
第 2 章 光固化快速原型技术	13
2.1 光固化快速原型工艺的基本原理和特点	13
2.1.1 光固化快速原型工艺的基本原理	13
2.1.2 光固化快速原型技术的特点	14
2.2 光固化快速原型的工艺过程	15
2.2.1 前处理	15
2.2.2 光固化成型	16
2.2.3 后处理	18
2.3 光固化快速原型的激光扫描方法	18
2.4 光固化快速原型的支撑结构	20
2.5 光固化快速原型的收缩变形	21
2.6 光固化快速原型的精度及控制	22
2.7 光固化快速原型的制作时间	27
2.8 光固化快速原型的应用	30
第 3 章 叠层实体快速原型技术	32
3.1 叠层实体快速原型工艺的基本原理和特点	32
3.1.1 叠层实体快速原型工艺的基本原理	32
3.1.2 叠层实体快速原型技术的特点	33
3.2 叠层实体快速原型的工艺过程	34
3.2.1 叠层实体制造工艺的前处理过程	34
3.2.2 叠层实体制造工艺的分层叠加过程	35
3.2.3 叠层实体制造工艺的后处理过程	36

3.3 提高叠层实体快速原型制作质量的措施	37
3.3.1 叠层实体原型制作误差分析	37
3.3.2 提高叠层实体原型制作精度的措施	39
3.4 叠层实体制造工艺后置处理中的表面涂覆	40
3.5 新型叠层实体快速原型工艺方法	42
3.6 叠层实体快速原型的应用	44
第4章 选择性激光烧结快速原型技术	47
4.1 选择性激光烧结工艺的基本原理	47
4.2 选择性激光烧结工艺的特点	48
4.3 选择性激光烧结工艺	49
4.3.1 高分子粉末材料烧结工艺	49
4.3.2 金属零件间接烧结工艺	50
4.3.3 金属零件直接烧结工艺	52
4.3.4 陶瓷粉末烧结工艺	53
4.4 高分子粉末烧结件的后处理	54
4.5 选择性激光烧结工艺参数	55
4.6 选择性激光烧结工艺的应用	56
第5章 熔融沉积快速原型技术	58
5.1 熔融沉积工艺的基本原理	58
5.2 熔融沉积工艺的特点	59
5.3 熔融沉积工艺成型过程影响因素分析	60
5.4 气压式熔融沉积快速成型系统	62
5.5 熔融沉积快速原型技术的应用实例	63
第6章 其他快速原型工艺	66
6.1 三维喷涂粘接工艺	66
6.1.1 三维喷涂粘接工艺的原理	66
6.1.2 三维喷涂粘接工艺的特点	66
6.1.3 三维喷涂粘接技术在陶瓷中的应用	67
6.2 光掩膜法	69
6.2.1 光掩膜法的工艺流程	69
6.2.2 光掩膜法的工艺特点	70
6.3 弹道微粒制造	71
6.4 数码累积成型	71
6.5 快速原型工艺方法的选择	72
第7章 快速原型制造设备	74
7.1 光固化快速原型制造设备	74
7.2 叠层实体快速原型制造设备	78
7.3 选择性激光烧结快速原型制造设备	80
7.4 熔融沉积快速原型制造设备	82
7.5 三维喷涂粘接设备	84

第 8 章 快速原型材料	86
8.1 光固化快速原型材料	86
8.2 叠层实体快速原型材料	89
8.3 熔融沉积快速原型材料	89
8.4 选择性激光烧结快速原型材料	91
第 9 章 快速原型制造技术的应用	93
9.1 引言	93
9.2 在产品中的应用	94
9.3 快速模具的母模	96
9.4 在铸造领域的应用	97
9.4.1 熔模铸造	98
9.4.2 直接模壳铸造	98
9.5 在医学领域的应用	100
第 10 章 快速原型工艺中的数据处理	105
10.1 CAD 三维模型的构建方法	105
10.1.1 概念设计	105
10.1.2 反求工程	106
10.2 STL 数据文件及处理	108
10.2.1 STL 文件的格式	108
10.2.2 STL 文件的精度	111
10.2.3 STL 文件的纠错处理	112
10.2.4 STL 文件的输出	115
10.2.5 分割与拼接处理软件	119
10.3 三维模型的切片处理及切片软件	125
10.3.1 切片方法	126
10.3.2 切片算法	128
10.3.3 切片软件 Magics	128
10.4 医学数据与三维 CAD 转换软件 Mimics	134
10.4.1 Mimics 软件简介	134
10.4.2 Mimics 软件应用实例	135
第 11 章 基于快速原型的软模快速制造技术	139
11.1 快速模具的分类及基本工艺流程	139
11.2 硅橡胶模具快速制造技术	141
11.2.1 硅橡胶模具的特点	141
11.2.2 基于快速原型的硅橡胶模具制作工艺	141
11.2.3 硅胶模制作的若干问题	143
11.2.4 经济型硅胶模制作的一种工艺方法	145
11.2.5 硅胶模模具的应用	146
11.3 电弧喷涂快速模具制造技术	147
11.3.1 电弧喷涂快速制模工艺	147

11.3.2	电弧喷涂制模关键技术及工艺参数控制	156
11.3.3	电弧喷涂模具的注塑应用	159
11.4	环氧树脂模具快速制造技术	161
11.4.1	环氧树脂模具制作工艺	162
11.4.2	环氧树脂配方	163
11.5	纤维增强聚合物压制模	164
第12章	基于快速原型的金属钢质硬模快速制造技术	167
12.1	Keltool™法快速制模技术	167
12.1.1	Keltool™法基本原理及工艺流程	167
12.1.2	Keltool™法的工艺特点	168
12.1.3	Keltool™法应用	169
12.2	RapidTool™法快速制模技术	169
12.2.1	RapidTool™工艺原理及流程	170
12.2.2	RapidTool™工艺特点	170
12.2.3	RapidTool™工艺制模材料及设备	171
12.2.4	RapidTool™工艺应用	172
12.3	DirectTool™法快速制模技术	172
12.3.1	DirectTool™工艺原理及流程	172
12.3.2	DirectTool™工艺制模设备	172
12.3.3	DirectTool™工艺材料	172
12.4	激光近成型技术	175
12.4.1	激光近成型技术基本原理	175
12.4.2	激光近成型技术特点	175
12.4.3	激光近成型技术制模设备及应用	176
12.5	ExpressTool™法快速制模技术	177
12.5.1	ExpressTool™法制模工艺流程及相关技术问题	177
12.5.2	ExpressTool™法制模工艺特点及应用	179
12.6	其他快速制模技术	180
12.6.1	电铸镍壳-陶瓷背衬模(NCC Tooling)	180
12.6.2	气相沉积镍壳-背衬模制造工艺	181
12.6.3	熔模铸造金属模制造工艺	183
12.6.4	直接金属三维打印制模技术	183
第13章	基于快速原型技术的产品快速设计与制造系统	185
13.1	基本功能及结构	185
13.2	系统软硬件资源	186
13.3	产品快速设计与制造系统的构建	187
13.4	产品快速设计与制造系统的应用	188
13.4.1	产品快速设计与制造实例	188
13.4.2	产品结构优化设计实例	192
参考文献		194

第 1 章 概 论

1.1 引言

从 20 世纪 60 年代开始,全球制造业几乎每隔 10 年就经历一场制造战略的变迁。制造业的发展战略从 60 年代“如何做得更多”(强调产品的生产规模)、70 年代“如何做得更便宜”(强调产品的生产成本)、80 年代“如何做得更好”(强调产品的质量)发展到 90 年代的“如何做得更快”(强调市场响应速度)。随着计算机技术的迅速普及和 CAD/CAM 技术的广泛应用,制造领域产品的开发周期、生产周期以及更新周期越来越短。同时,全球市场环境也发生了巨大变化: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,而且还必须快速地生产制造出来,抢占市场。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,近年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业的发展水平。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。

快速原型(也称快速成型)技术(Rapid Prototyping, RP)就是在这种背景下逐步形成并得以发展的。该技术借助计算机、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,以逐层累积的建造方式在很短时间内直接制造产品样品,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的新模式,使设计师以前所未有的直观方式体会设计的感受,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,加强了企业引导消费的力度。

快速原型技术制作的模型或样品可用于新产品的评价和装配检验以及性能评估等,也可用于制造硅橡胶模具的母模和熔模铸造模具的消失型等,从而批量地生产塑料件及金属零件。用这种方法制造样品较传统方法的显著优点是,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。

而以 RP 原型作母模来翻制模具的快速模具制造技术(Rapid Tooling, RT),进一步发挥了快速原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



图 1-1 快速原型技术的支撑技术

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。模具制造是制约汽车、家电、轻工等行业发展的瓶颈和关键，随着快速原型软硬件设备与快速原型材料的不断发展和完善，快速原型件的强度和精度不断得到提高，快速原型技术已经逐渐深入到快速模具制造领域，基于快速原型方法制造各类简易经济的快速模具已成为 RP 应用的热点问题。

1.2 快速原型技术的早期发展

快速原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。在快速原型技术发展过程中，各个研究机构和研究者均按照自己的理解赋予其不同的称谓，如自由成型制造（Free Form Fabrication, FFF）、实体自由成型制造（Solid Freeform Fabrication, SFF）、分层制造（Layered Manufacturing, LM）、添加制造（Additive Manufacturing, AM）或材料添加制造（Material Increase Manufacturing, MIM）、直接 CAD 制造（Direct CAD Manufacturing, DCM）、即时制造（Instant Manufacturing, IM）等。快速原型技术的不同称谓反映了不同发展时期其不同方面的主要技术特征。快速原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，J. E. Blanthier 在他的美国专利中曾建议用叠层的方法来制作地图模型。该方法提出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,光敏聚合树脂涂到耐火颗粒上(例如石墨粉或沙砾),这些耐火颗粒然后被填充到叠层,加热形成与叠层对应的板层,光线有选择地投射或扫描到这个板层,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, P. L. 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,通过铣床加工成型沿高度标识的金属层片,然后通过粘接成叠层状,采用螺栓和带锥度的销钉进行连接加固,制作了型腔模,如图 1-2 所示。

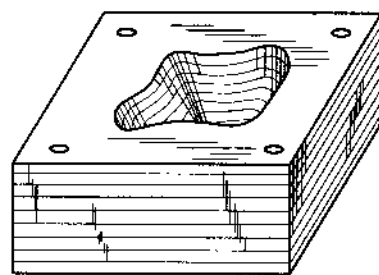


图 1-2 由 DiMatteo 制作的
型腔模叠层模型

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、成型模和注射模等。其中特别值得一提的是, Nakagawa 教授提出了注射模中复杂冷却通道的制作可以通过这种方式来得以实现。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,在快速原型技术和方法发展过程中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 快速原型技术方法发展中的部分专利

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及方法	1986.06	美国
Deckard	选择烧结方法制作模型的设备及方法	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
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



在快速原型技术和设备的早期商业开发中, Willeme 光刻实验室从 1861 年到 1868 年获得了商业成功。但是, 由于需要具有跟踪仪器设备的手工雕刻劳动力问题, Willeme 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。

1982 年 Charles W. Hull 提出了明确的选区光固化产生三维实体的新思想后, 在美国 UVP 公司的持续支持下, 完成了一个能自动建造零件的称之为 Stereolithography Apparatus (SLA) 的完整系统 SLA-1, 1986 年该系统获得专利, 这是快速原型技术发展的一个里程碑。同年, Charles W. Hull 和 UVP 的股东们一起建立了 3D Systems 公司, 随后许多关于快速原型的概念和技术在 3D Systems 公司中发展成熟, 并于 1988 年开发出世界上第一台商业快速原型机 SLA-250。与此同时, 其他的成型原理及相应的成型机也相继开发成功。1984 年 Michael Feygin 提出了分层实体制造 (Laminatde Object Manufacturing, LOM) 的方法, 并于 1985 年组建 Helisys 公司, 1991 年开发了第一台商业机型 LOM-1015。1986 年, 美国 Texas 大学的研究生 C. Deckaed 提出了选择性激光烧结 (Selective Laser Sintering, SLS) 的思想, 随后组建成 DTM 公司, 于 1992 年开发了基于 SLS 的商

表 1-2 早期快速原型系统商业开发

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	
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	
Helisys	美国	薄板成型	1985	1991
Light Sculpting	美国	光掩膜技术	1986	
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	熔接沉积	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
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



业成型机 (Sinterstation)。ScottCrump 在 1988 年提出了熔融沉积制造 (Fused Deposition Modeling, FDM) 的思想, 1991 年开发了第一台商业机型 3D-Modeler。自从 20 世纪 80 年代中期 SLA 光成型技术发展以来到 90 年代后期, 出现了十几种不同的快速原型技术, 除前面提到的 SLA、LOM、SLS 及 FDM 几种快速原型工艺方法外, 典型的还有 3DP、SDM、SGC、ModelMaker、MJM 等。目前, SLA、LOM、SLS 和 FDM 四种技术发展的相当成熟并得到了广泛应用。

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。

1.3 快速原型技术市场及学术领域

快速原型技术的出现仅有十几年时间, 但却得到了工业界的迅速重视与应用。例如美国 Ford 汽车公司和 Dupont 公司已在他们的生产线上采用了 RP 技术, 美国 Pratt & Whitney 公司已应用 RP 技术制造铸造熔模。美国在 RP 系统 (设备) 研制、生产、销售方面占全球主导地位, 生产 RP 设备系统的公司主要有 3D Systems (SLA 等), Stratasys (FDM), Sanders (3D Plotting System), Helisys (LOM), Aeroflex (SLA), DTM (SLS) 等。欧洲和日本等国家也不甘落后, 纷纷进行 RP 技术、设备研制等方面的研究工作, 如德国的 EOS 公司、以色列的 Cubital 公司以及日本的 CMET 公司等。我国的武汉滨湖机电产业有限公司、陕西恒通智能机器有限公司、北京隆源公司和上海联泰公司等也分别推出了各自的快速原型制造设备。

研究 RP 模型材料的国外高校主要有美国 Dayton 大学、Michigan 大学、Virginia 技术大学。此外, Virginia 大学、Clemson 大学、Georgia 大学及英国 Nottingham 大学快速原型与制造中心等单位也从事 RP 技术研究与服务方面的工作。从事 RP 设备系统方面开发研究的高校主要有美国麻省理工学院 (MIT)、Stanford 大学、Texas 大学及 Utah 大学等。此外, 加拿大 Calgary 大学、荷兰 Delft 技术大学、芬兰 Helsinki 技术大学、德国 Stuttgart 大学等也从事 RP 方面的研究。美国 Virginia 技术大学、Milwaukee 工程大学、Georgia 技术大学及 Dayton 大学等已开设了有关 RP & M 方面的课程。我国华中科技大学、西安交通大学、清华大学、香港大学以及中北大学等单位也大力开展了这方面的研究工作, 研制的 RP & M 设备已经商品化或正在商品化, 取得了可喜成绩。

近年来, 有关 RP 方面的书籍、杂志及国际会议纷纷出现, 例如: Burns、Johnson、Jacobs、Wood 和 Binstock 等分别发表了有关 RP 方面的著作或书籍。近年来, 新出版的有关 RP 方面的学术刊物包括 Rapid Prototyping (季刊)、Rapid Prototyping Journal (季刊)、Rapid Prototyping Report (月刊) 以及 Virtual Prototyping Journal 等。学术会议有全美快速原型制造会议、欧洲快速原型与制造技术会议、国际制造过程自动化会议及国际快速原型与制造会议等。快速原型与制造技术正如其本身所具备的快速特征一样, 迅速在工业界和学术研究界占有了极其重要的地位。

随着快速成型系统研发质量的不断提高和应用领域的逐渐扩大和深入, 与之并行的 RP 材料及相关软件的研究与开发也得到了快速的发展。

成型材料是 RP 技术发展的关键环节, 它影响着原型的成型速度、精度和物理、化学性能, 直接影响到原型的二次应用和用户对成型工艺设备的选择。新成型工艺方法的出现



往往与新材料的应用密切相关，目前所应用的成型材料的种类已比较丰富，如表 1-3 所示。

表 1-3 快速成型材料的种类

材料形态	液 态	固 态 粉 末		固态片材	固态丝材
		非 金 属	金 属		
具体材料	光固化树脂	蜡粉 尼龙粉 覆膜陶瓷粉 高分子材料粉	钢粉 覆膜钢粉	覆膜纸 覆膜塑料 覆膜陶瓷箔 覆膜金属箔	蜡丝 ABS 丝

几乎所有著名的快速成型系统的制造商都在研究并提供快速成型用的材料，同时也出现了众多专门研发并提供与快速原型制作和应用相关材料的公司，如气巴公司、杜邦公司等。

软件是 RP 系统的灵魂，其中最为关键的又是 CAD 到 RP 接口的数据转换和处理软件。在 RP 发展的初期，人们的注意力主要集中在工艺本身，而随着应用的不断深入，软件处理的精度和速度，软件对复杂模型的处理能力就成为应用中的一个主要瓶颈。国外的 RP 公司和研究机构对此都非常重视并投入大量人力和资金进行软件的研究和开发。

国外的各大 RP 系统生产商一般都开发自己的数据变换接口软件，如 3D Systems 公司的 ACES、QuickCast，Helisys 公司的 LOMSlice，DTM 公司的 Rapid Tool，Stratasys 公司的 QuickSlice、SupportWorks、AutoGen，Cubital 公司的 SoliderDFE，Sander 公司的 protoBuild 和 ProtoSupport 等。

由于 CAD 系统与 RP 系统的数据变换接口软件开发的困难性和相对独立性，国外涌现了很多作为 CAD 与 RP 系统之间的桥梁的第三方软件，如比利时 Materialise 公司的 Magics、美国 Solid Concept 公司的 SolidView、美国 POGO 公司的 STL Manager 等，这些软件一般都以常用的数据文件格式作为输入输出接口。

1.4 快速原型技术的主要方法及分类

快速原型技术是 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，快速原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。

各种快速原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。快速原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原型制造方法通常指的是累积式的成型方法，而累积式的快速原型制造方法是依据原型使



用的材料及其构建技术进行分类的,如图 1-3 所示。

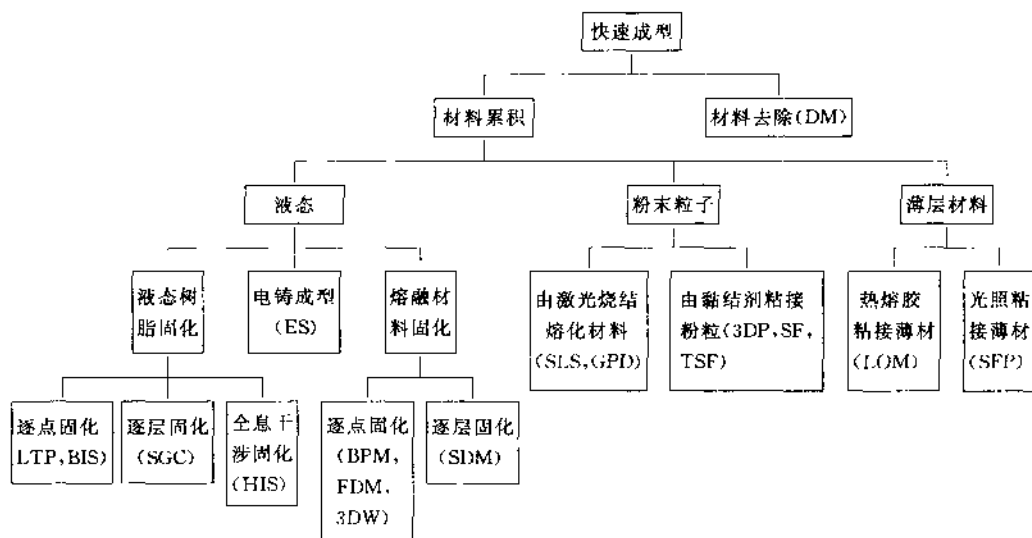


图 1-3 快速原型工艺方法的分类

1.5 快速原型技术的特点及优越性

1.5.1 快速原型技术的特点

快速原型技术的出现,开辟了不用刀具、模具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,快速原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原型技术的另外一个用语。作为快速原型技术的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。以快速原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,快速原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 无论哪种快速原型制造工艺,其材料都是通过逐点、逐层以添加的方式累积成型的。无论哪种快速原型制造工艺,也都是通过 CAD 数字



模型直接或者间接地驱动快速原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原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原型设备系统的原型制作过程也决定了快速原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, 快速原型技术的出现较好的填补了 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, 共同支撑了快速原型技术的实现。

(5) 突出的经济效益 快速原型技术制造原型或零件, 无需工模具, 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, 由于快速原型在设计可视化、外观评估、装配及功能检验以及快速模具母模的功用, 能够显著缩短产品的开发与试制周期, 也带来了显著的时间效益。也正是因为快速原型技术具有突出的经济效益, 才使得该项技术一经出现, 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、产品设计的外观评估和装配检验、快速反求与复制, 也适合于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、文化艺术以及建筑工程等领域也有广阔的应用前景。

1.5.2 快速原型技术的优越性

在产品设计和制造领域应用快速原型技术, 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。由于采用快速原型技术之后, 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 采用快速原型技术之后, 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模具等的准备, 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纸、样本来推销。所以,快速原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,这使得他们能及早、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。

1.6 快速原型技术的发展趋势

快速原型技术仍处于初级阶段,多数快速原型制造系统所制造的实体模型还不能用于实际工作零件,大多是由于材料及成本方面的限制。目前 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。目前 RP 系统所用材料种类有限,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、挠曲。收缩是因固化(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挠曲。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。

快速原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)的快速原型与制造设备,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,国内主要精力集中在 RP 设备方面的研究。但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有以下几点。

(1) 金属零件的直接快速成型 目前的快速原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