

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

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



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与特点, 原型制作材料, 快速成型设备系统及其选择, 快速成型与快速模具制作工艺流程及关键技术, 快速成型数据准备和处理, 典型应用领域以及基于快速成型与快速模具技术的产品快速设计与集成制造系统等。

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教学的教材和参考书, 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. —北京: 机械工业出版社, 2003.11

ISBN 7-111-13126-6

I. 快... II. ①王... ②赵... III. ①成型②模具—制造
IV. ①TG39②TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 085549 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周国萍 庞 晖

封面设计: 陈 沛 责任印制: 闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7.625 印张·293 千字

0 001—4 000 册

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

自从 1988 年美国 3D Systems 公司推出第一台商品化 SLA250 设备以来的十几年来,快速成型及基于快速成型的快速模具制造技术在世界范围内得到了高度重视和迅速发展。

快速成型与快速模具制造技术仅有十几年的发展历史,是当今机械制造领域最具潜力的先进制造技术之一。国内于 20 世纪 90 年代初在国家科技部、国家基金委、原机械工业部及部分地方政府与科技部门的支持下,启动了快速成型与快速模具制造技术的研究与应用工作,被迅速地推向制造业的前沿,在设备商品化以及工艺、材料、软件等多方面取得了显著进展,许多单位建立了相应的服务机构,开展快速成型与快速模具制造技术的研究应用推广和社会服务。

作者所在单位从 1997 年开始开展该项技术的研究工作,购置了快速成型与快速模具设备、反求设备及数据处理软件、CAD/CAM 软件和 CAE 软件等,组建了产品/模具快速设计与制造系统,5 年多来进行了大量的工艺、材料、质量控制等方面的研究工作,以产品/模具快速设计与制造为核心,为国内众多企业进行了较广泛的技术支持与服务工作,积累了许多有价值的成果和经验。同时,作者在本单位也相继开展了快速成型与快速模具制造技术的研究生与本专科生的教学工作,在传授该项技术过程中积累了较多的文献资料。

目前,国内有关快速成型与快速模具制造技术方面的书籍很少,相关的文献资料又比较繁杂,从教学、工程应用与交流尤其是普及和推广该项技术的角度来看,迫切需要一本能够系统介绍典型快速成型工艺、典型快速模具制造技术、材料与设备选择、数据处理内容及相关软件、工程应用领域等方面的书籍。正是基于这样的初衷,结合所在单位多年来的研究与应用积累,作者进行了本书的编著工作。在编写过程中,作者得到了所在单位的工作人员和研究生的大力支持,没有同事们 5 年来的鼎力合作,就没有本书中体现出来的内容。

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。

作者

2003 年 7 月 15 日

目 录

前言

第1章 概论1

1.1 快速成型技术的早期发展2

1.2 快速成型技术市场及学术 领域5

1.3 快速成型技术的优越性8

第2章 快速成型制造工艺 10

2.1 引言 10

2.2 光固化成型工艺 10

2.2.1 光固化成型的基本原理 和特点 10

2.2.2 光固化成型方式 12

2.2.3 光固化成型的后处理 14

2.2.4 光固化成型的支撑结构 15

2.2.5 光固化原型的变形及其 控制 16

2.2.6 光固化成型材料及其 选择 18

2.2.7 光固化成型的应用 23

2.3 叠层实体制造工艺 25

2.3.1 叠层实体制造工艺的 基本原理和特点 25

2.3.2 叠层实体制造工艺过程 27

2.3.3 提高叠层实体原型制作 质量措施 31

2.3.4 叠层实体制造工艺 的材料 35

2.3.5 叠层实体制造工艺后置 处理中的表面涂覆 36

2.3.6 叠层实体制造工艺的

应用实例 39

2.4 熔融沉积快速成型工艺 41

2.4.1 熔融沉积工艺的基本 原理 41

2.4.2 熔融沉积工艺的特点 43

2.4.3 熔融沉积成型材料 44

2.4.4 熔融沉积成型应用实例 46

2.5 选择性激光烧结工艺 47

2.5.1 选择性激光烧结工艺 的基本原理 48

2.5.2 选择性激光烧结工艺 的特点 49

2.5.3 选择性激光烧结工艺 的成型材料 50

2.5.4 选择性激光烧结工艺 的应用 51

2.6 其他快速成型工艺 52

2.7 快速成型工艺方法的选择 54

2.8 快速成型技术存在的问题 及发展趋势 56

第3章 快速模具制造技术 59

3.1 引言 59

3.2 快速模具的分类及基本 工艺流程 59

3.3 硅橡胶制模技术 61

3.3.1 模具硅橡胶材料的类型 与特点 62

3.3.2 硅橡胶模具的特点	64	5.2 CAD 三维模型的构建 方法	116
3.3.3 基于 RP 原型的硅橡胶 模具制作工艺	64	5.2.1 概念设计	116
3.3.4 硅橡胶模制作的若干 问题	66	5.2.2 反求工程	118
3.3.5 经济型硅橡胶模制作 的一种工艺方法	68	5.3 常用的 CAD/CAM 软件 介绍	120
3.3.6 硅橡胶模具的应用	70	5.4 STL 数据文件及处理	126
3.4 电弧喷涂快速制模技术	71	5.4.1 STL 文件的格式	126
3.4.1 电弧喷涂制模技术 的现状	71	5.4.2 STL 文件的精度	129
3.4.2 电弧喷涂快速制模工艺 ..	72	5.4.3 STL 文件的纠错处理 ..	130
3.4.3 电弧喷涂制模关键技术 及工艺参数控制	85	5.4.4 STL 文件的输出	137
3.4.4 电弧喷涂模具的注塑 应用	90	5.4.5 分割与拼接处理软件 ..	142
3.5 环氧树脂快速模具	93	5.5 三维模型的切片处理及 切片软件	151
3.5.1 环氧树脂模具制作工艺 ..	94	5.5.1 切片方法	151
3.5.2 环氧树脂配方	96	5.5.2 切片算法	154
3.6 其他快速模具技术	97	5.6 医学数据与三维 CAD 转换软件 Mimics	156
3.6.1 直接注射热塑性塑料 制模	97	第 6 章 快速成型制造技术 的应用	158
3.6.2 粉末金属浇注模具	99	6.1 引言	158
3.6.3 直接金属粉末激光 烧结制模	101	6.2 在产品设计中的应用	159
3.6.4 间接金属粉末激光 烧结制模	102	6.3 快速模具的母模	162
第 4 章 快速成型设备	104	6.4 在铸造领域的应用	163
4.1 引言	104	6.4.1 熔模铸造	164
4.2 光固化成型设备	104	6.4.2 直接模壳铸造	166
4.3 叠层实体制造成型设备	108	6.5 在医学领域的应用	167
4.4 选择性激光烧结设备	111	第 7 章 产品快速设计与制造 系统	171
4.5 熔融沉积制造设备	113	7.1 基本功能及结构	171
第 5 章 数据准备与处理	116	7.2 系统软硬件资源	172
5.1 引言	116	7.3 产品快速设计与制造系统 的构建	174
		7.4 产品快速设计与制造系统 的应用	175

7.4.1	产品快速设计与制造		附录	快速成型与快速模具研究与	
	实例	175		服务的主要机构	184
7.4.2	产品结构优化设计实例	180	参考文献		231

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。20 世纪开始,企业的发展战略已经从 60 年代“如何做得更多”、70 年代“如何做得更便宜”、80 年代“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,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工业的发展水平,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,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样品,无须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觉,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。

快速成型技术制作的样品可用于新产品的评价,也可用于制造硅橡胶模具和熔模铸造模具等,从而批量地生产塑料及金属零件。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。

而以 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。模具制造是制约我国汽车、家电、轻工等行业发展的瓶颈和关键，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，快速原型件的强度和精度得到不断的提高，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快速模具已成为 RP&M 应用的热点问题。

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（例如石墨粉或砂砾），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被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。DiMatteo 在具体实践中，通过铣床加工成形沿高度标识的金属层片，然后粘接成叠层状，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 1-1 所示。

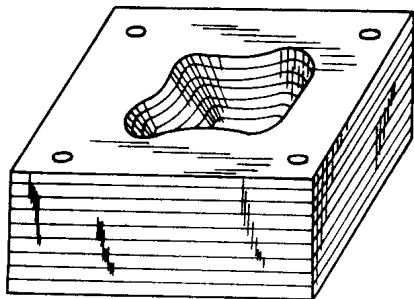


图1-1 由 DiMatteo 制作的型腔模叠层模型

1977 年, Swainson 在他的美国专利中提出通过选择性地激光照射光敏聚合物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模具, 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 (紫外激光) 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, 利用 X-Y 平面坐标移动和光学纤维来照射新的叠层。

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 <i>et al.</i>	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 <i>et al.</i>	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 <i>et al.</i>	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 <i>et al.</i>	三维印刷	1989.12	美 国
Levent <i>et al.</i>	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 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, 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 系统商业开发中具有标志性的开发商、工艺和起始时间等。1988 年, 当 3D Systems 公司将 SLA-1 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	N/A
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	N/A
Helisys	美 国	薄材成型	1985	1991
Light Sculpting	美 国	光掩膜技术	1986	N/A
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	溶接沉积	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	薄材技术	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	薄材技术		1994
Teijin Seiki	日 本	光固化成型	1991	1992
Ushio	日 本	光固化成型		1994

1.2 快速成型技术市场及学术领域

RP&M 技术按照所使用的材料不同和零件的建造技术不同可分为多种工艺,其中包括光固化技术 (Stereolithography, SLA)、选择性激光烧结技术 (Selective Laser Sintering, SLS)、层状物体制造技术 (Laminated Object Manufacturing, LOM) 及熔融沉积制造技术 (Fused Deposition Manufacturing, FDM) 等。

快速成型制造技术研究仅有十几年的时间,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、Dupont 公司已在他们的生产线上采用了 RP&M 技术,美国 Pratt & Whitney 公司已应用 RP&M 技术制造铸造熔模。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)、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&M 技术研究、设备研制开发等方面的研究工作,如德国的 EOS 公司、以色列的 Cubital 公司以及日本的 CMET 公司等。1995 年,RP&M 被列为我国今后十年十大模具工业发展方向之一,我国近期与远期自然科学学科发展战略调研报告(机械制造学科)也将快速成型制造技术、自由造型系统及计算机集成系统研究列为重点研究领域之一。

在美国制造工业,快速成型制造技术正起着极其重要的作用,并已得到制造业的高度重视。1994 年,密西根 Denton & Co 公司对美国 312 家快速成型用户的调查与统计表明,地面运输公司占 24%,航空航天用户占 23%,家用电器制造用户占 14%,商业机器制造用户占 11%。快速成型制造技术具有显著的经济和时间效益,例如,Pratt & Whitney 公司快速铸造成型实验室工程方法分析家 John Martin 指出:1994 年,Pratt & Whitney 公司共生产了两千件快速成型铸件,其成本在 60 万美元到 70 万美元之间,但采用常规方法,这些铸件的成本将在 700 万美元左右,此外,还节省了 70%~90%的时间。美国工程自动化咨询公司总裁 Terry Wohlers 指出,对于快速成型与制造工业,1994 年是美国关键的一年,1994 年销售的快速成型设备比过去两年的总和还要多,共出售 330 台快速成型制造设备,并且完成了大量的快速成型应用工作,估计产值为 2 亿美元,如果再考虑零件复制,其产值可达 2.8 亿美元。

据美国工程自动化咨询公司的 RP 市场 2002 年调查报告,该行业 2002 年的产值接近 7 亿美元,如图 1-2 所示。与 CNC 初期市场相比,RP 行业的

发展速度是相当惊人的, 1988~1997 年 RP 产值以 53.6% 的年平均速度增长, 而在 1970~1981 年 CNC 市场的年平均增长率为 22%, 所以有人比喻 RP 技术对制造业的冲击与贡献可以与 20 世纪 60 年代出现的数控 (NC) 技术相媲美。

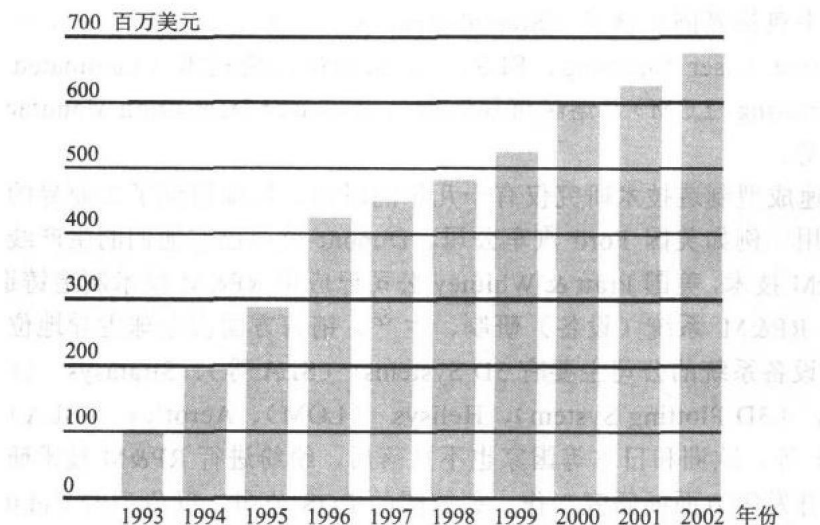


图1-2 RP 行业的年收益及增长

图 1-3 给出了 Wohlers Associates 咨询公司对世界范围内 RP 系统的安装统计, 图 1-4 给出了各种主要 RP 系统截止到 2001 年底的安装统计情况。

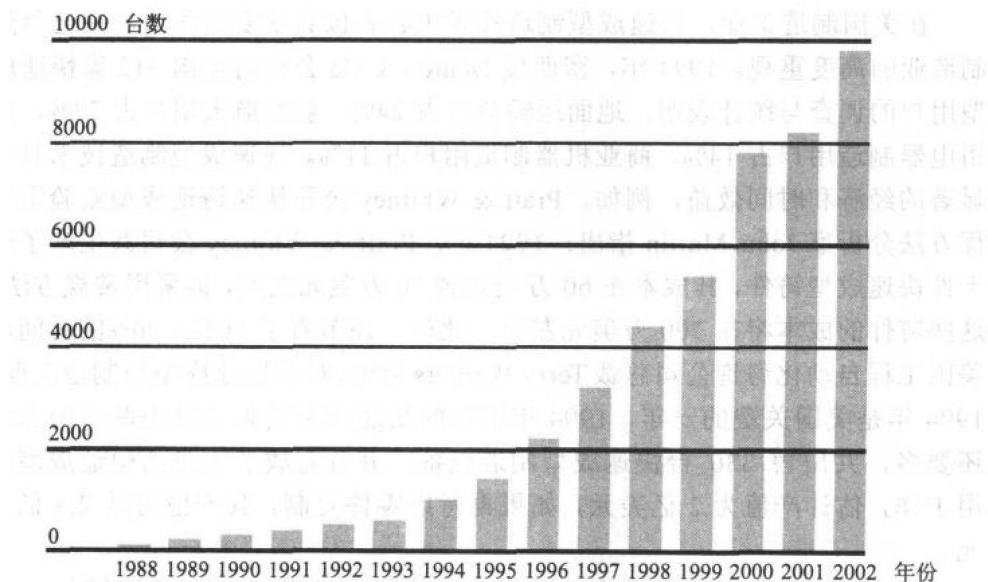


图1-3 RP 系统年安装统计

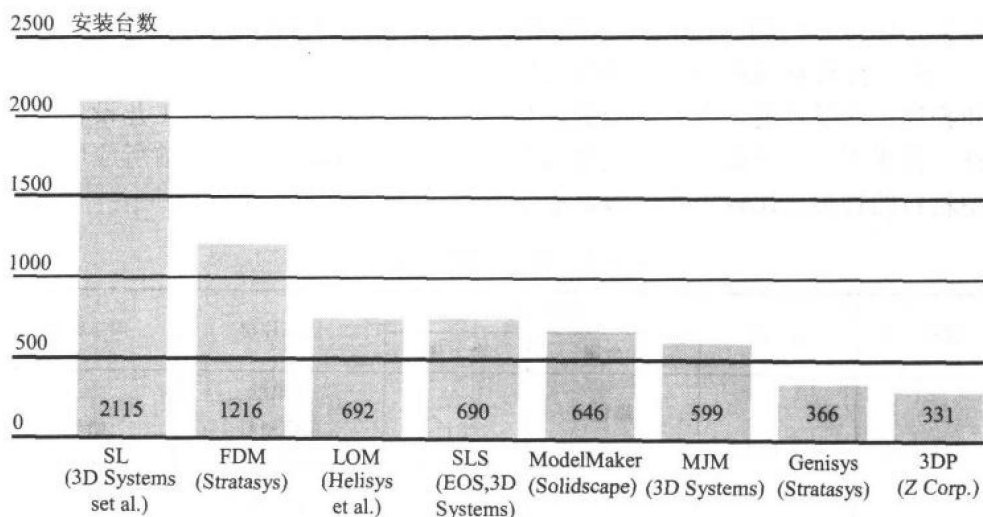


图1-4 各主要 RP 系统的安装统计

研究 RP&M 模型材料的高校主要有美国 Dayton 大学、Michigan 大学、Virginia 技术大学等。此外，Virginia 大学、Clemson 大学、Georgia 大学、英国 Nottingham 大学快速成型与制造中心等单位从事 RP&M 技术研究与服务方面的工作。从事 RP&M 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 大学以及香港大学等也从事 RP&M 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。我国清华大学、华中理工大学、西安交通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&M 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&M 方面的著作或书籍。近年来，新出版的有关 RP&M 方面的学术刊物有《快速原型制造》(Rapid Prototyping (季刊))、《快速原型制造杂志》(Rapid Prototyping Journal (季刊))、《快速原型制造报告》(Rapid Prototyping Report (月刊))以及《虚拟原型制造杂志》(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。快速成型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		
材料种类	光固化树脂	蜡粉 尼龙粉 覆膜陶瓷粉	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&M 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&M 发展初期，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以及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&M 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。

国外各大 RP&M 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 Tool1，Stratasys 公司的 QuickSlice、SupportWorks、AutoGen，Cubital 公司的 SoliderDFE，Sander 公司的 ProtoBuild 和 ProtoSupport 等。

由于 CAD 与 RP&M 数据变换接口软件开发的困难性和相对独立性，国外涌现出很多作为 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。

1.3 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。

第2章 快速成型制造工艺

2.1 引言

快速成型制造技术是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,各种不同的快速成型工艺相继出现并逐渐成熟,相对应的设备继而快速地商品化。目前,比较成熟的快速成型工艺方法已有十余种,其中光固化成型法(SLA)、叠层实体制造法(LOM)、激光选区烧结法(SLS)、熔融沉积法(FDM)得到了世界范围内的广泛应用,下面重点介绍这几种常用的快速成型技术。

2.2 光固化成型工艺

光固化成型工艺,也常被称为立体光刻成型,英文名称为 StereoLithography,简称 SL,有时也被简称为 SLA (StereoLithography Apparatus)。该工艺是由 Charles Hull 于 1984 年获得的美国专利,是最早发展起来的快速成型技术。自从 1988 年 3D Systems 公司最早推出 SLA 商品化快速成型机以来,SLA 已成为最为成熟和广泛应用的 RP 典型技术之一。它以光敏树脂为原料,通过计算机控制紫外激光使其凝固成型。这种方法能简捷、全自动地制造出各种加工方法难以制作的复杂立体形状,在加工技术领域中具有划时代的意义。

2.2.1 光固化成型的基本原理和特点

1. 光固化成型基本原理

光固化成型工艺的成型过程如图 2-1 所示。液槽中盛满液态光敏树脂,氦-镉激光器或氩离子激光器发出的紫外激光束在控制系统的控制下按零件的各分层截面信息在光敏树脂表面进行逐点扫描,被扫描区域的树脂薄层产生光聚合反应而固化,形成零件的一个薄层。一层固化完毕后,工作台台下移一个层厚的距离,以使在原先固化好的树脂表面再敷上一层新的液态树脂,然后刮板将粘度较大的树脂液面刮平,进行下一层的扫描加工,新固化的一层牢固地粘结在前一层上,如此重复直至整个零件制造完毕,得到一个三维实体原型。当实体原型完成后,首先将实体取出,并将多余的树脂排净。由