

快速成型——拉近理想与现实的距离

快速成型技术作为一门新兴起的制造技术，简单地讲其基本成型原理为“离散原型”、“分层制造”、“逐层叠加”。它不同于传统的加工方法，其基本原理如图 1 所示：由原始的 CAD 三维模型进行 Z 方向的离散分层，得到每一个片层的数据进行加工，把每一层加工出实体的进行堆积叠加，由此生成完整的实体模型。

一、快速成型简介

上世纪 70 年代，Alan Herbert 就提出快速成型（Rapid Prototyping-RP）的基本思想。直到 1986 年，Charles Hull 才在 UVY 的资助完成了第一个 RP 系统 SLA，即激光烧结（SLA）系统的前身，由此也标志着快速成型技术从理论跨入应用。至今为止，快速成型技术进入了高速发展阶段。

表 1 现今流行的几种快速成型方法

名称	缩写	创始人	创始时间	代表厂商
立体光固化成型法	SLA	Charles W.Hull	1986 年	3D Systems、 AUTOSTRADE
分层实体制造法	LOM	Michael Feygin	1984 年	Helisys、Dundee
选择性激光烧结法	SLS	C.Deckard	1986 年	DTM、EOS
熔融沉积成型法	FDM	Scott Crump	1988 年	Stratasys
三维打印法	3DP	Emanuel Sachs	1989 年	Z Corporation、 

自从 80 年代中期 SLA 光成型技术发展以来到 90 年代后期，出现了几十种不同的 RP 技术。

二、快速成型基本原理

快速成型技术作为一门新兴起的制造技术，简单地讲其基本成型原理为“离散原型”、“分层制造”、“逐层叠加”。它不同于传统的加工方法，其基本原理如图 1 所示：由原始的 CAD 三维模型进行 Z 方向的离散分层，得到每一个片层的数据进行加工，把每一层加工出实体的进行堆积叠加，由此生成完整的实体模型。



图1 快速成型技术基本原理

快速成型技术集成了计算机辅助设计（CAD）、计算机数字控制（CNC）、精密机械、激光、新材料技术等学科于一体的高新技术，能快速将CAD三维模型制成实物原型。其基本过程（见图2）为：

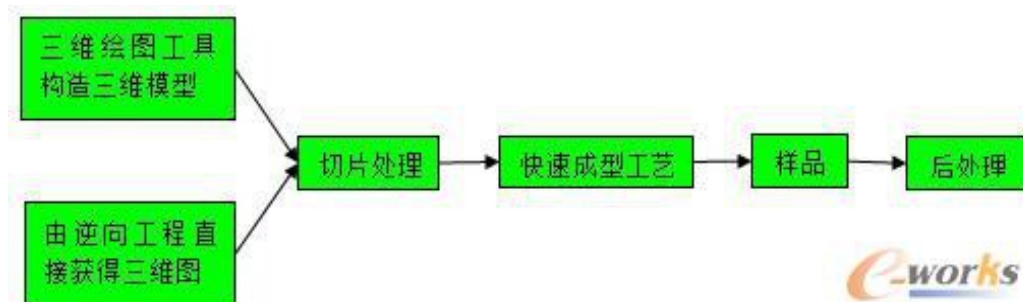


图2 快速成型过程

构造三维模型：借助三维CAD软件设计或用实体逆向工程采集原型的几何形状、结构和材料的组合信息，得到样品的三维模型。

切片处理：用切片软件，在三维模型上，沿成型的垂直方向，每隔一定的间隔进行切片处理，以便提取界面的轮廓。

成型：选具体的成型工艺，在计算机的控制下，逐层加工，然后反复叠加，最终形成三维产品。

后处理：根据具体的工艺，采用适当的后处理方法，改善样品性能。

三、快速成型制造工艺及分类

目前，世界上已有几十种不同的快速成型工艺方法，其中比较成熟的技术就有十余种，光固化成型法(SLA)、分层实体制造法(LOM)、选择性激光烧结法(SLS)和熔融沉积法(FDM)四种方法自快速成型技术产生以来在世界范围内应用最为广泛。但值得一提的是，三维打印技术(3DP)已经成为最近两年最热门和发展最为迅速的工艺方法。

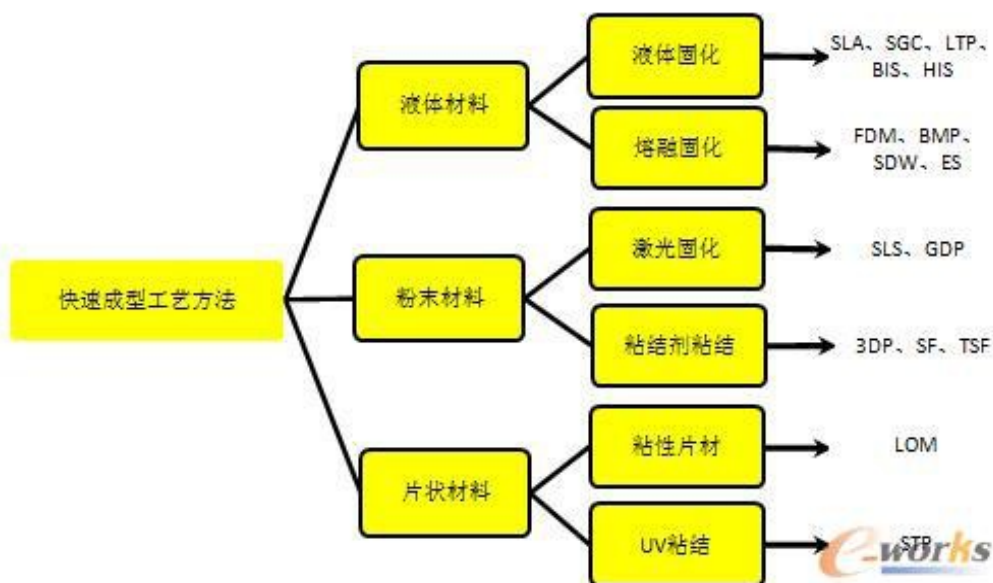


图3 快速成型工艺方法

3.1 光固化成型法(SLA)

光固化成型法也常被称为立体光刻或立体印刷成型，是最早发展起来的快速成型技术。它以光敏树脂为原料，通过计算机控制紫外激光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。一层固化完成后，工作台下降一个层厚的距离，以使在原先固化好的树脂表面再敷上一层新的液态树脂，如此重复，直至得到三维实体模型。如图4所示。

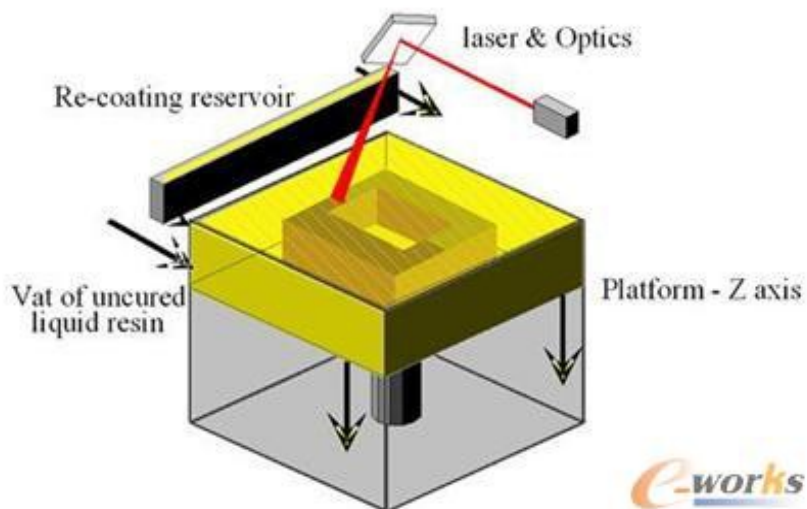


图4 光固化成型法工作原理

该种成型方法成型速度快，自动化程度高、可成形任意复杂形状、材料的利用率接近100%、尺寸精度高、成形件强度高，根据以上特点，SLA法主要应用于复杂、高精度、有艺术用途的精细件快速成型。图5为SLA成型的产品。



图 5 采用 SLA 工艺成型的产品

3.2 分层实体制造法 (LOM)

分层实体制造也称薄形材料选择性切割。它根据 CAD 三维模型每一个截面的轮廓线，在计算机的控制下，用激光对薄形材料进行切割，逐步得到各层截面，并粘结在一起，这样反复逐层切割，粘合直至形成所需产品。零件轮廓以外的部分用激光剪切成小碎片以便零件制作完毕之后移去。如图 6 所示。

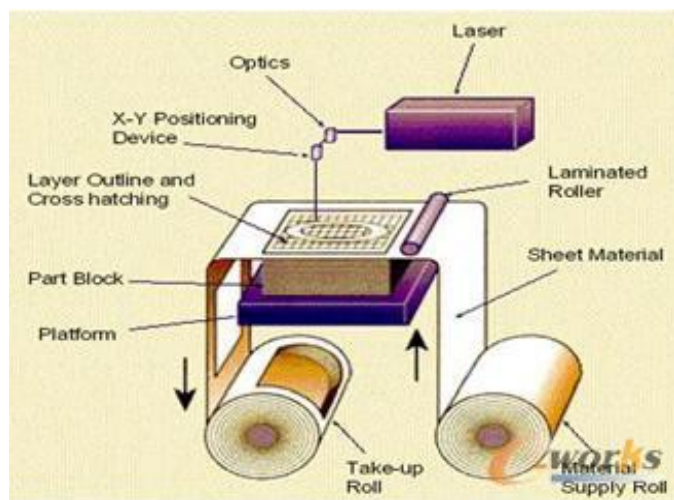


图 6 分层实体制造法工作原理

分层实体制造法在成型后无需后固化处理、无需支撑结构、原材料价格便宜，成本低，根据以上特点 LOM 法主要适合成型大中型的实体零件。如图 7 为采用 LOM 技术生成的产品。



图7 采用LOM技术生成的产品

3.3 选择性激光烧结法(SLS)

选择性激光烧结法又称为选区激光烧结。它的原理是预先在工作台上铺一层粉末材料（金属粉末或非金属粉末），激光在计算机控制下，按照界面轮廓信息，对实心部分粉末进行烧结，然后不断循环，层层堆积成型，如图8所示。

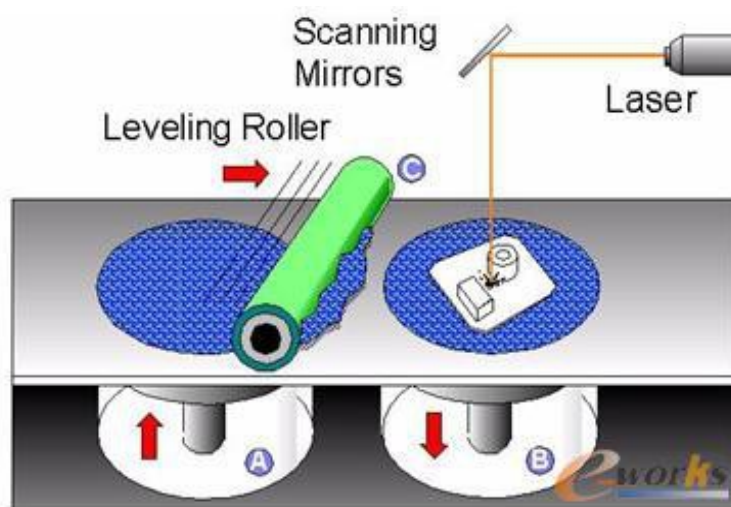


图8 选择性激光烧结法工作原理

由于该类成型方法有着制造工艺简单，柔性度高、材料选择范围广、材料价格便宜，成本低、材料利用率高，成型速度快等特点，针对以上特点SLS法主要应用于铸造业，并且可以用来直接制作快速模具。如图9为采用SLS技术生成的4缸发动机。



图9 采用 SLS 技术生成的 4 缸发动机

3.4 熔融沉积成型(FDM)

熔融沉积法又被称为熔丝沉积法或丝状材料选择性熔覆。它是将丝状的热熔性材料加热融化，同时三维喷头在计算机的控制下，根据截面轮廓信息，将材料选择性地涂敷在工作台上，快速冷却后形成一层截面。然后重复以上过程，继续熔喷沉积，直至形成整个实体造型。如图 10 所示。

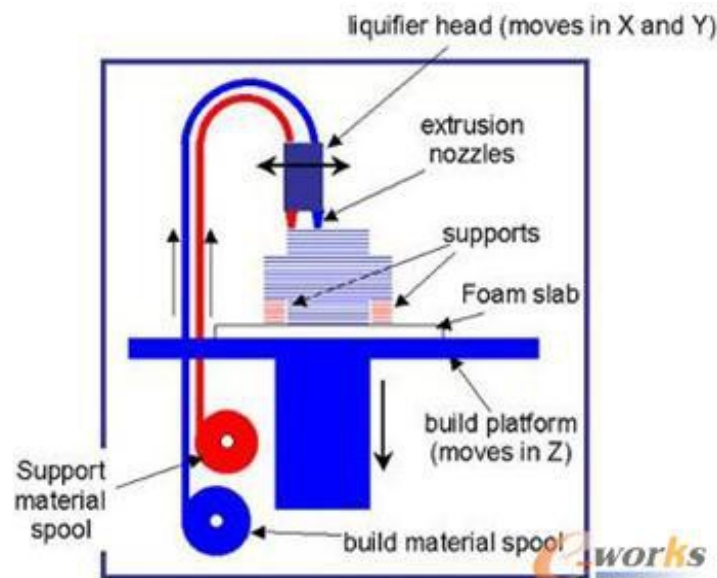


图 10 熔融沉积法工作原理

由于其成型材料种类多，成型件强度高、精度高，表面质量好，易于装配、无公害，可在办公室环境下进行等特点，熔融沉积法主要适用于成型小塑料件。如图 11 为采用 FDM 法制作的产品。



图 11 由 FDM 法制作的产品样品

3.5 三维打印技术(3DP)

三维打印也称为粉末材料选择性粘结，它的原理是喷头在计算机控制下，按照截面轮廓信息，在铺好的一层粉末材料上，有选择性地喷射粘结剂，使部分粉末粘结，形成截面层。然后如此循环形成三维产品。如图 12 所示。

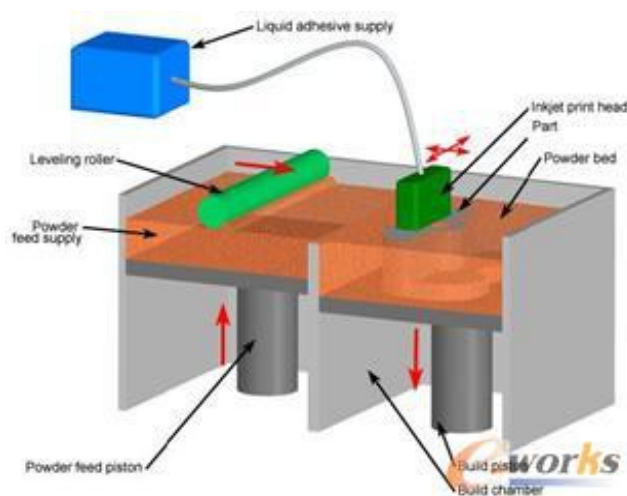


图 12 三维打印法工作原理

由于其成型速度快、成型设备便宜的优点，成为近两年发展非常迅速的一种快速成型方法。

3.6 典型快速成型工艺比较

几种典型的快速成型工艺比较如表 2 所示：

表 2 几种典型的快速成型工艺比较

	光固化成型 SLA	分层实体制造 LOM	选择性激光烧结 SLS	熔融沉积成型 FDM	三维打印技术 3DP
优点	(1) 成型速度快, 自动化程度高, 尺寸精度高; (2) 可成形任意复杂形状; (3) 材料的利用率接近 100%; (5) 成形件强度高。	(1) 无需后固化处理; (2) 无需支撑结构; (3) 原材料价格便宜, 成本低。	(1) 制造工艺简单, 柔性度高; (2) 材料选择范围广; (3) 材料价格便宜, 成本低; (4) 材料利用率高, 成型速度快。	(1) 成型材料种类多, 成型件强度高; (2) 精度高, 表面质量好, 易于装配; (3) 无公害, 可在办公室环境下进行。	(1) 成型速度快; (2) 成型设备便宜。
缺点	(1) 需要支撑结构; (2) 成型过程发生物理和化学变化, 容易翘曲变形; (3) 原材料有污染; (4) 需要固化处理, 且不便进行机。	(1) 不适宜做薄壁原型; (2) 表面比较粗糙, 成型后需要打磨; (3) 易吸湿膨胀; (4) 工件强度差, 缺少弹性; (5) 材料浪费大, 清理废料比较困难。	(1) 成型件的强度和精度较差; (2) 能量消耗高; (3) 后处理工艺复杂, 样件的变形较大。	(1) 成型时间较长; (2) 需要支撑; (3) 沿成型轴垂直方向的强度比较弱。	(1) 一般需要后序固化; (2) 精度相对较低。
应用领域	复杂、高精度、艺术用途的精细件	实体大件	铸造件设计	塑料件外形和机构设计	应用范围广泛
国内用户	诺基亚中国研发、联想集团、华硕、吉利、安踏、伊顿、上海日用-友捷、耐克、阿迪达斯国内 OEM 厂家、清华大学、西安交通大学、南京理工大学、上海东华大学等。				
常用材料	热固性光敏树脂等	纸、金属箔、塑料薄膜等	石蜡、塑料、金属、陶瓷粉末等	石蜡、塑料、低熔点金属等	各种材料粉末
发展趋势	稳步发展	逐渐淘汰	稳步发展	飞速发展	飞速发展
设备费用	高昂	中等	高昂	低廉	低廉

3.7 其他快速成型工艺

除以上五种方法外, 其它许多快速成型方法也已经实用化, 如实体自由成形 (solid freeform fabrication, SFF)、形状沉积制造 (shape deposition manufacturing, SDM)、实体磨削固化 (solid ground curing, SGC)、分割镶嵌 (tessellation)、数码累计成型 (digital brick laying, DBL)、三维焊接 (three dimensional welding, 3DW)、直接壳法 (direct shell production casting, DSPC)、直接金属成型 (direct metal deposition, DMD) 等快速成型工艺方法。

四、快速成型的特点与应用

4.1 快速成型的案例

青岛 DND 机电科技股份有限公司, 成立于 1997 年, 该公司主要从事台式电动工具、空压机、金工机床、木工机床及电焊机等产品的研发、生产和销售。

公司每年研发的新产品超过 50 种, 在新产品开发过程中, 公司对产品的质量要求较高, 并且要求尽量做到“周期短、质量好”。而在以往的环境中进行产品设计验证时, 有些问题比较棘手: 如进行产品设计时, 无法直观零件与零件之间是否有干涉、碰撞, 全凭工程师的

设计经验；制作一个很小的产品模型也需要通过模具开模得到，每次模具的制作大约要耗时 2—3 周，制作周期很长，而且花费的成本也比较高。

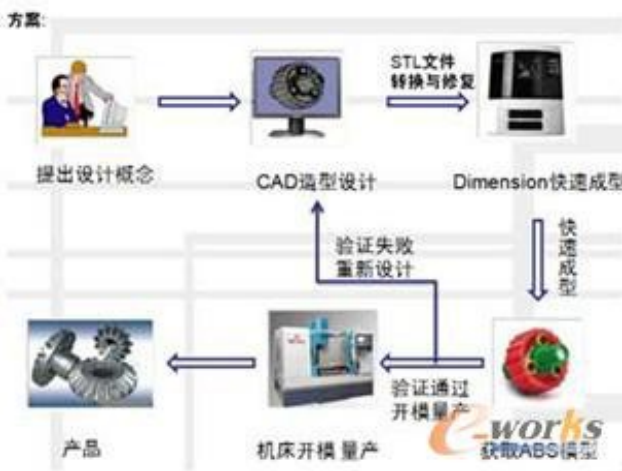


图 13 快速成型技术为企业提供的解决方案

自公司引进 Dimension SST 1200 快速成型机后，通过快速成型技术成形产品的模型样件，进行验证，从而有效的缩短产品研发周期，节约研发的时间、费用成本等。表 2 为快速成型工艺与传统工艺的效益对比。

表 3 快速成型工艺与传统工艺的效益对比

	快速成型工艺	传统工艺
研制周期	1—2 个小时	2—3 周
成本核算	快速成型制作一个小型模具只需约 100 元的成本	制作模具开模费用为 1000 元左右
产品精度	高	低
研发风险	很小	大

据 DND 集团设计工程师介绍，通过采用快速成型技术模拟设计产品后，产品的设计效率提高了将近 80%，新产品开发周期比之前缩短了三分之一，新产品的开发成本也下降了近 66%，由此可见采用快速成型技术所带来的效益是显著的。

4.2 快速成型的应用

目前，快速成型技术已经广泛应用于生物、工程、医学等领域，今后快速成型技术的将会大大扩展在制造业的应用，并有可能渗透到更多的应用领域。

现有的快速成型产品中，有的已成型真是的原型件，但他们只局限于某些商业应用，随着市场产品更新换代的加快，对快速制造技术在缩短周期、降低成本、提高精度、延长寿命等方面都会提出更高的要求，而由此各种快速成型工艺亦会不断的成熟与完善。

快速成型技术主要在汽车、摩托车、电子消费类、教育以及各类科研机构中有着广泛的应

用。国外典型用户有：福特、保时捷、克莱斯勒、摩托罗拉、诺基亚、惠普、索尼、耐克、阿迪达斯、哈佛、麻省理工、美国航空航天局等。国内典型用户有：吉列、合朗、英华达、伊顿、联想集团、上海日用-友捷(通用汽车配套)、耐克、阿迪达斯国内 OEM 厂家、总参六十四所、南京理工大学、上海东华大学、江南大学工业设计学院等。

五、快速成型技术的发展趋势

1 快速成型设备的大型化和小型微型化

目前，技术向两个方向发展：一是工业化大型系统，用于制造高精度、高性能零件。另一方面是自动化的桌面小型系统，此类系统称为概念模型机或台式机，主要特点是成型速度快、精度适中、设备小巧、运行可靠、清洁、无噪声。

2 快速成型行业的标准化

由于快速成型技术刚刚起步，在很多方面缺乏标准，因此，迫切需要制定合理的行业标准，这样有利于快速成型技术的推广应用。

3 先进材料的应用

先进材料应用于快速成型技术是未来几年重要的发展方向。目前，光子晶体材料、热敏聚合物材料、微制造快速成型材料、功能梯度复合材料等各类先进材料已经得到应用。

4 绿色制造

产品的绿色设计、制造、清洁化生产以及人类的可持续发展是当今的研究热点。因此快速成型技术是否符合绿色制造要求，直接关系到该技术的可持续发展，所以绿色材料、绿色工艺将成为快速成型亟需解决的问题。

六、主流快速成型供应商

1 3D Systems

美国 3D Systems 成立于 1986 年，是世界最大的快速成型设备开发公司之一，于 1986 年推出第一台快速成型机，并在短时间内占有了市场大部分份额，如今，3D Systems 公司已经成为了全球最大的提供快速成型解决方案的厂商。

其产品包括 SLA 快速成型系列的 iPro™ SLA®与 Viper™ SLA®, SLS 快速成型系列的 sPro™、Sinterstation® HiQ™与 Sinterstation® Pro™等产品。



(1) 基于 SLA 技术的 iPro™快速成型机 (2) 基于 SLS 的 sPro™快速成型机

图 14 3D Systems 公司快速成型机

公司网站: www.3dsystems.com/

2 Helisys

美国 Helisys 公司的 Michael Feygin 于 1986 年研制出 LOM 工艺，该公司已推出 LOM-1050 和 LOM-2030 两种型号成型机。



图 15 LOM 2030 快速成型机外观

Helisys 公司研制出多种 LOM 工艺用的成型材料，可制造用金属薄板制作的成型件。该公司还与 DAYTON 大学合作开发基于陶瓷复合材料的 LOM 工艺。

3 DTM

1986 年，美国 Texas 大学的研究生 C. Deckard 提出了选择性激光烧结 (简称 SLS) 的思想，稍后组建了 DTM 公司，于 1992 年开发了基于 SLS 的商业快速成形系统。



图 16 Sinterstation2500 快速成型机

DTM 公司推出了 Sinterstation 系列成型机及多种成型材料。

公司网站: <http://www.dtm-corp.com>

4 EOS

德国 (Electro Optical System) EOS 公司成立于 1989 年，是世界著名的快速成型设备制造商和 e-制造方案提供商，EOS 公司的选区激光烧结快速成型设备在汽车零件、覆盖件和家用电器外壳的原型制造中得到广泛的应用。

EOS 公司主要快速成型产品有 FORMIGA P、EOSINT P 系列等。



(a) FORMIGA P100 快速成型机 (b) EOSINT P390 快速成型机
图 17 EOS 公司快速成型机

公司网站: <http://www.eos.info/>

5 Stratasys

美国 Stratasys 公司是快速成型技术市场的领导者，成立于 1988 年，1991 年正式推出商用快速成型机，在快速成型市场出货量及机器安装数量方面，至今已连续 10 年排名第一。Stratasys 公司具有专利的快速成型制程技术称为 Fused Deposition Modeling (Fortus™)，即融熔挤制沉积成型技术。



图 18 Stratasys FDM 360mc 快速成型机

Stratasys 公司的主要有 Vantage 系列、FDM 系列、Fortus 系列等产品。

公司网站: <http://www.stratasys.com/>

6 Phenix Systems

Phenix Systems 公司, 该公司位于法国, 以金属 SLS 技术为主, 设备名称为 PXL 和 PM 系列产品。



(a) PXL 型快速成型机 (b) PM250 快速成型机

图 19 Phenix Systems 公司快速成型机

公司网站: <http://www.phenix-systems.com/>

7 Z Corporation

Z Corporation 公司成立于 1994 年, 最早由美国麻省理工学院 (MIT) 于 1993 年开发的三维打印成型技术 (3DP™), 奠定了 Z Corporation 原型制造过程的基础。目前, Z Corporation 是世界上速度最快三维成型机的开发商、制造商和营销商。



(a) ZPrinter®310 Plbu 系列快速成型机 (b) Spectrum Z™510 快速成型机

图 20 Z Corporation 公司快速成型机

Z Corporation 公司产品主要是基于 3DP 技术而成的, 主要有 ZPrinter®、Spectrum Z™、ZScanner®、ZEdit™等产品。

公司网站: <http://www.zcorp.com/>

8 Objet

Objet 公司成立于1998年,总部位于以色列雷霍沃特市的高科技开发中心。公司通过其位于欧洲和香港的全资子公司,以及全球经销商伙伴网络向日益增长的全球客户群提供服务。Objet 拥有40多个专利与未决专利的发明。



图 21 Objet Eden500V™专业级三维打印机

Objet 的系统以公司拥有专利,并经过市场验证的 PolyJet™ 聚合物喷射技术为基础,公司目前的主要产品包括 Eden™、Connex、Alaris™等。

公司网站: <http://www.objet.com/>

9 DSM Somos

自上世纪80年代后期,Somos 就积极投身快速成型材料的开发工作。自1992年第一种商用 Somos 立体光刻树脂的引入,到今天 Somos 12120 的引入,DSM 公司已在此过程中为 Somos 奠定了良好声誉——持续的材料创新、卓越的产品质量和热诚的客户服务。

公司网站: www.dsmsomos.com

10 北京隆源自动成型有限公司

北京隆源自动成型系统有限公司1993年开始研发 AFS 系列选区粉末烧结激光快速成型机并取得自主知识产权,1994年正式投产和销售。该公司生产销售的 AFS 系列选区粉末烧结激光快速成型机被广泛应用于科研院校、航空航天、船舶兵器、汽车摩托车、家电玩具和医学模型等行业的设计试制部门。

目前公司主要的 AFS 系列产品有 AFS-320、AFS-360、AFS-500 等产品。

公司网站: <http://www.lyafs.com.cn>

11 北京殷华激光快速成型与模具技术有限公司

北京殷华激光快速成形与模具技术有限公司是清华大学企业集团下属的高科技企业,主要从事快速成形系统,快速制模设备以及专用耗材的开发、生产和销售。公司联合上游的机械三维设计软件供应商和下游的真空注塑、逆向工程设备厂商,为客户提供全面的产品开发、试制、小批量生产解决方案。

目前该公司主要产品有 FDM 工艺设备 (MEM) 系列、激光固化树脂 RP 设备 (AURO-350) 分层实体 RP 设备 (SSM) 系列。

公司网站: <http://www.rpyinhua.com>