



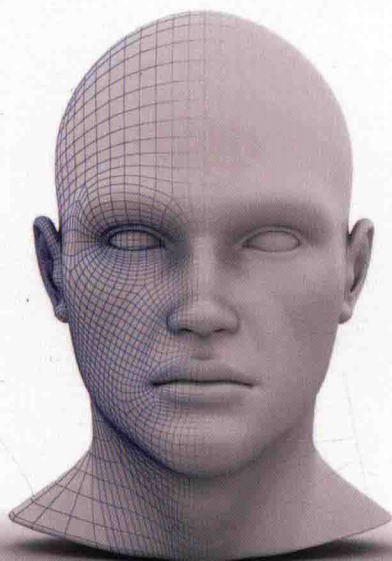
全国应用型高校3D打印领域
人才培养“十三五”规划教材

顾 问 卢秉恒
丛书主编 史玉升 朱 红

3D

打印的后处理及应用

陈森昌◎主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国应用型高校 3D 打印领域人才培养“十三五”规划教材

3D 打印的后处理及应用

主 编 陈森昌

副主编 陈 曦



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书介绍了 3D 打印件的后处理和 3D 打印技术的具体应用。后处理方面介绍了主要的 3D 打印方法后处理的目的、具体操作过程和要求。3D 打印技术的应用方面着重介绍了在未来更有发展前景的方向,如工业与艺术设计、首饰设计与制造、医疗和生物等。

本书既可以作为应用型高校学生学习的教材,也可以作为 3D 打印从业人员或 3D 打印爱好者的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

3D 打印的后处理及应用/陈森昌主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.7
全国应用型高校 3D 打印领域人才培养“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5680-2931-5

I. ①3… II. ①陈… III. ①立体印刷-印刷术-高等学校-教材 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 126889 号

3D 打印的后处理及应用

陈森昌 主编

3D Dayin de Houchuli ji Yingyong

策划编辑:张少奇

责任编辑:戢凤平

封面设计:杨玉凡

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:8.25

字 数:166 千字

版 次:2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:29.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国应用型高校 3D 打印领域人才培养“十三五”规划教材

编审委员会

顾问:卢秉恒 西安交通大学

总主编:史玉升 华中科技大学

朱 红 武汉职业技术学院

主任:史玉升 华中科技大学

副主任:周 钢 华中科技大学

陈森昌 广东技术师范学院

李义军 湖北嘉一三维高科股份有限公司

委员:(按姓氏笔画排序)

王 晖 佛山职业技术学院

文世峰 华中科技大学

刘 凯 武汉职业技术学院

李中伟 华中科技大学

李文慧 文华学院

杨家军 文华学院

杨振国 佛山职业技术学院

余日季 湖北大学

张 帆 武汉理工大学

张新建 文华学院

陈 曦 广东技术师范学院

易 杰 湖南工业职业技术学院

胡 斌 湖北嘉一三维高科股份有限公司

钟 飞 湖北工业大学

侯高雁 武汉职业技术学院

盛步云 武汉理工大学

谢 丹 武汉职业技术学院

鄢国平 武汉工程大学

戴红莲 武汉理工大学

魏青松 华中科技大学

秘 书:俞道凯 张少奇

序

3D 打印技术也称增材制造技术、快速成形技术、快速原型制造技术等,是近 30 年来全球先进制造领域兴起的一项集光/机/电、计算机、数控及新材料于一体的先进制造技术。它不需要传统的刀具和夹具,利用三维设计数据在一台设备上由程序控制自动地制造出任意复杂形状的零件,可实现任意复杂结构的整体制造。如同蒸汽机、福特汽车流水线引发的工业革命一样,3D 打印技术符合现代和未来制造业对产品个性化、定制化、特殊化需求日益增加的发展趋势,被视为“一项将要改变世界的技术”,已引起全球关注。

3D 打印技术将使制造活动更加简单,使得每个家庭、每个人都有可能成为创造者。这一发展方向将给社会的生产和生活方式带来新的变革,同时将对制造业的产品设计、制造工艺、制造装备及生产线、材料制备、相关工业标准、制造企业形态乃至整个传统制造体系产生全面、深刻的影响:(1)拓展产品创意与创新空间,优化产品性能;(2)极大地降低产品研发创新成本、缩短创新研发周期;(3)能制造出传统工艺无法加工的零部件,极大地增加工艺实现能力;(4)与传统制造工艺结合,能极大地优化和提升工艺性能;(5)是实现绿色制造的重要途径;(6)将全面改变产品的研发、制造和服务模式,促进制造与服务融合发展,支撑个性化定制等高级创新制造模式的实现。

随着 3D 打印技术在各行各业的广泛应用,社会对相关专业技能人才的需求也越来越旺盛,很多应用型本科院校和高职高专院校都迫切希望开设 3D 打印专业(方向)。但是目前没有一套完整的适合该层次人才培养的教材。为此,我们组织了相关专家和高校的一线教师,编写了这套 3D 打印技术教材,希望能够系统地讲解 3D 打印及相关应用技术,培养出适合社会需求的 3D 打印人才。

在这套教材的编写和出版过程中,得到了很多单位和专家学者的支持和帮助,西安交通大学卢秉恒院士担任本套教材的顾问,很多在一线从事 3D 打印技术教学工作的教师参与了具体的编写工作,也得到了许多 3D 打印企业和湖北省 3D 打印产业技术创新战略联盟等行业组织的大力支持,在此不一一列举,一并表示感谢!

我们希望该套教材能够比较科学、系统、客观地向读者介绍 3D 打印技术这一新兴制造技术,使读者对该技术的发展有一个比较全面的认识,也为推动我国 3D

打印技术与产业的发展贡献一份力量。本套书可作为高等院校机械工程专业、材料工程专业、职业教育制造工程类的教材与参考书,也可作为产品开发与相关行业技术人员的参考书。

我们想使本套书能够尽量满足不同层次人员的需要,涉及的内容非常广泛,但由于我们的水平和能力所限,编写过程中有疏漏和不妥在所难免,殷切地希望同行专家和读者批评指正。

史玉升

2017 年 7 月于华中科技大学

前 言

目前,3D 打印这一“改变未来”的技术受到世界广泛关注,其自身也得到了快速的发展。而相关人才的紧缺已成为制约 3D 打印技术发展的重要因素之一。此外,人们对 3D 打印技术本身的特性、能力和适应性也缺乏了解。为了帮助解决上述这两方面的问题,作者编写了本书。本书既可以作为应用型高校学生学习的教材,也可以作为 3D 打印从业人员或爱好者的参考书籍。

本书主要介绍 3D 打印件的后处理和 3D 打印技术的具体应用。对 3D 打印件的后处理方面,介绍了主要 3D 打印方法后处理的目的、具体操作过程和要求。具体应用则主要介绍了 3D 打印技术在小批量产品的制造、工业与艺术设计、创意设计、首饰设计与制造及医疗、生物领域中的应用。

3D 打印件的后处理是对成形后零件的处理,这是关系成形件质量的重要工序之一,目前还没有书籍进行过集中讨论。本书对大部分常用 3D 打印方法成形件的后处理进行了介绍。3D 打印技术的应用是 3D 打印的主要研究领域之一,已有很多介绍相关内容的书籍,本书试图在未来更有发展前景的方面,如工业与艺术设计、首饰设计与制造、医疗和生物等,进行相应应用新进展的介绍。

本书的项目 5 由陈曦撰写,项目 4 由陈曦、陈森昌共同撰写,其余项目由陈森昌撰写,全书由陈森昌统一审定。书中除一般原理的介绍外,还列举了大量的事例,这些事例一部分是作者的积累,一部分来自参考文献,还有一小部分来自行业报道,报道的事例最少都经过两家不同渠道报道,以求真实。在此,对所参考书籍、论文和报道的作者表示最衷心的感谢。学生柯美霞、方泽民、梁文媛、许青云和陈钰洁帮助收集、整理了大量的资料,对他们的辛勤工作表示感谢。

本书在编写过程中使用了部分图片,在此向这些图片的版权所有者的谢意!由于客观原因,我们无法联系到您。如您能与我们取得联系,我们将在第一时间更正任何错误或疏漏。

面对 3D 打印行业的飞速发展,面对大量的研究论文和最新报道,作者越来越感到惶恐,生怕由于自己的学识、能力有限,对材料的取舍、理解存在偏颇,对发展方向的判定有失准确。对于书中可能存在的疏漏,恳请广大读者不吝批评、指正,以便在将来合适的时候对其进行修改、完善。

编 者

2017 年 3 月

目 录

第 1 篇 3D 打印件的后处理	(1)
项目 1 3D 打印件的直接后处理	(2)
任务 1.1 3D 打印件表面的问题及要求	(3)
1.1.1 3D 打印件的台阶效应	(10)
1.1.2 3D 打印的辅助支撑结构	(11)
1.1.3 3D 打印的要求	(12)
任务 1.2 3D 打印件直接后处理的物理方法	(13)
1.2.1 3D 打印件的直接后处理要求	(13)
1.2.2 3D 打印件的表面打磨处理	(14)
1.2.3 3D 打印件的抛光处理	(14)
1.2.4 3D 打印件的去支撑处理	(15)
1.2.5 LOM 成形件余料去除	(16)
任务 1.3 3D 打印件直接后处理的化学方法	(16)
1.3.1 3D 打印件的延寿后处理	(17)
1.3.2 3D 打印件的着色后处理	(19)
1.3.3 3D 打印件的蒸发后处理	(20)
1.3.4 SLA 成形件的固化处理	(21)
项目 2 3D 打印件的间接后处理	(22)
任务 2.1 3D 打印件的性能局限性与后处理的要求	(22)
2.1.1 3D 打印件的局限性	(23)
2.1.2 3D 打印件间接后处理的原则	(24)
任务 2.2 3D 打印件间接后处理举例	(25)
2.2.1 用硅胶模生产塑料件	(26)
2.2.2 生产消失模模型	(28)
第 2 篇 3D 打印技术的应用	(33)
项目 3 3D 打印技术应用于小批量产品的制造	(35)
任务 3.1 3D 打印技术应用于小批量产品制造的优势	(36)
3.1.1 快速性	(36)
3.1.2 经济性高	(37)
3.1.3 自由性好	(37)

任务 3.2	3D 打印技术应用于零件制造	(38)
3.2.1	直接打印零件	(38)
3.2.2	间接制造零件	(41)
任务 3.3	3D 打印技术应用于熔模铸造	(42)
3.3.1	3D 打印制造熔模的工艺	(43)
3.3.2	熔模铸造的优点	(46)
3.3.3	3D 打印技术应用于熔模铸造的局限性	(46)
任务 3.4	3D 打印技术用于制造产品的模具	(47)
3.4.1	直接制模	(48)
3.4.2	间接制模	(50)
3.4.3	金属喷涂模具技术	(51)
项目 4	3D 打印技术应用于工业与艺术设计	(53)
任务 4.1	3D 打印技术应用于工业与艺术设计的优势	(54)
4.1.1	思维限制解除	(55)
4.1.2	周期缩短且容易修改	(56)
4.1.3	制造成本低	(57)
任务 4.2	3D 打印技术应用于设计的快速验证	(57)
4.2.1	设计产品形状的验证	(58)
4.2.2	设计产品中零件装配关系的验证	(59)
任务 4.3	3D 打印技术应用于艺术设计验证和制造	(60)
4.3.1	3D 打印技术应用于艺术设计验证	(61)
4.3.2	3D 打印技术应用于艺术品的制造	(62)
项目 5	3D 打印技术应用于创意领域	(67)
任务 5.1	3D 打印技术应用于创意领域的优势	(67)
5.1.1	创意可不用考虑可行性	(68)
5.1.2	快速、无限次修改	(68)
任务 5.2	3D 打印技术应用于创意方案的快速验证	(69)
5.2.1	方案可行性的快速验证	(69)
5.2.2	方案实用性的快速验证	(70)
5.2.3	方案安全性的快速验证	(70)
任务 5.3	3D 打印技术应用于建筑设计验证和制造	(70)
5.3.1	建筑设计验证	(70)
5.3.2	建筑物的打印	(71)
5.3.3	别墅的 3D 打印	(72)
任务 5.4	3D 打印技术应用于个人制造	(73)

5.4.1 定制生活用品	(73)
5.4.2 定制耐用消费品——汽车	(76)
5.4.3 DIY 玩具	(77)
项目 6 3D 打印技术应用于首饰设计与制造	(81)
任务 6.1 3D 打印技术应用于首饰设计与制造的优势	(82)
6.1.1 3D 打印技术应用于设计的优势	(84)
6.1.2 3D 打印技术应用于制造的优势	(85)
任务 6.2 3D 打印技术应用于首饰设计的快速验证	(87)
6.2.1 概念化首饰设计	(88)
6.2.2 创建虚拟模型	(89)
6.2.3 首饰设计的快速验证	(90)
任务 6.3 3D 打印技术应用于首饰制造	(90)
6.3.1 首饰的制造工艺	(91)
6.3.2 3D 打印直接成形首饰	(94)
6.3.3 铸造模型工艺	(96)
项目 7 3D 打印技术应用于医疗、生物领域	(98)
任务 7.1 3D 打印技术应用于医疗、生物领域的优势	(99)
7.1.1 3D 打印技术应用于医疗领域的优势	(102)
7.1.2 3D 打印技术应用于生物领域的优势	(104)
任务 7.2 3D 打印技术应用于牙齿的定制	(105)
7.2.1 牙齿修复	(106)
7.2.2 种植牙	(107)
7.2.3 隐形牙套	(107)
任务 7.3 3D 打印技术应用于人头骨骼的定制	(108)
7.3.1 人造脊椎	(109)
7.3.2 修复头盖骨	(110)
7.3.3 髋关节定制	(111)
任务 7.4 3D 生物打印技术应用于活体生物的打印	(112)
7.4.1 人工耳朵	(113)
7.4.2 人造血管	(114)
7.4.3 皮肤移植	(116)
参考文献	(117)

第1篇

3D打印件的后处理

3D 打印技术是基于离散堆积原理成形零件的一种新的自由成形技术,实现这种成形的设备称为 3D 打印机。

3D 打印机打印零件完成之后,需要通过后续处理工艺对零件做进一步的处理,这些工艺方法统称为后处理工艺,简称后处理。后处理分为直接后处理和间接后处理。直接后处理就是直接在成形件上进行处理,以达到加强成形零件强度,增加表面光洁度及保护零件延长保存时间的目的。对于不同的成形方法,直接后处理方法也有差别。间接后处理是借用成形件,通过一些简单的工艺方法处理,得到另外的零件或实体。间接后处理方法也因 3D 打印方法和材料的不同而不同。

项目 1 3D 打印件的直接后处理

因为所有 3D 打印方法打印的实体都存在台阶效应,所以去除台阶,使打印件表面光滑,是所有 3D 打印方法后处理都要进行的工序。

对于 SLS 方法,主要的后处理方法有除粉、表面打磨、浸液体材料、表面涂料等。零件成形后,需要将表面黏附的多余粉末除去,一般先用刷子将周围大部分粉末扫去,剩余的较少粉末可通过机械振动、微波振动、不同方向风吹等除去。也可将成形件浸入特制溶剂中,此溶剂能溶解散落的粉末,但是不能溶解固化成形的零件,如此可达到除去多余粉末的目的。去粉完毕的零件若还需要长久保存时,一般会在零件外面刷一层防水固化胶,以增加其强度,防止其因吸水而减弱强度;或者将零件浸入能起保护作用的聚合物中,比如环氧树脂、氰基丙烯酸酯、熔融石蜡等。处理后的零件兼具防水、坚固、美观、不易变形等特点。

对于 SLA 方法,后处理主要包括静置、强制固化。打印的零件静置一段时间,可使得成形的粉末和黏结剂之间通过交联反应、分子间作用力等作用固化完全;可根据不同类别用外加措施进一步强化作用力,例如加热、真空干燥、紫外光照射等方式。

FDM、SLA 方法的后处理除了打磨台阶,还有去除支撑结构、涂表面保护材料等。

LOM 方法的后处理先要去除不要的部分,然后打磨台阶,再进行表面防水、防潮处理。

项目目标

- (1) 了解 3D 打印件及后处理要求;
- (2) 掌握 3D 打印件直接后处理方法。

知识目标

- (1) 认识 3D 打印件的台阶效应,了解台阶效应的产生原因;
- (2) 了解使用辅助支撑结构的目的是作用以及主要的支撑材料种类;
- (3) 了解 SLA 继续强化的原理和方法。

能力目标

- (1) 掌握对 3D 打印件进行手工打磨、抛光和去支撑处理的方法;
- (2) 掌握提高 3D 打印件性能的化学处理方法;
- (3) 通过学习,掌握收集、分析、整理参考资料的方法,掌握对具体实体件的后处理方法。

任务 1.1 3D 打印件表面的问题及要求

任务描述

3D 打印件的表面比较粗糙,本任务分析了其造成的原因——台阶效应,介绍了打印悬空结构时需要支撑结构的原因,最后,分析了 3D 打印的要求。

知识准备

1. 物体成形方式

(1) 减材成形

减材成形是运用削、铣、磨、刨、钻和激光切割等分离技术有序地从毛坯剔除多余部分材料的成形方法,是传统工业生产的主要成形方法。

(2) 受压成形

受压成形是利用材料的可塑性,让成形材料在特定的压力下成形的方法,如锻压成形、拉伸成形、挤压成形等,都属于受压成形。

(3) 增材成形

增材成形是有序地将材料累加堆积为基本特征,以直接制造零件为目标的成形技术。

2. 3D 打印的概念

3D 打印技术是指利用软件分层离散和数控成形系统,通过分层加工与叠加成形相结合的方法,将零件 CAD 数据模型逐层打印,层层累加生成三维实体的数

字制造技术。3D 打印的完整流程通常包括软件建模、三维设计、切片处理、打印过程、后处理五个步骤。

通俗地说,3D 打印件的产生是切萝卜片的逆过程。切萝卜片的过程是用刀把整体的萝卜“切”成无数的片,而 3D 打印完全相反,它是一片一片地打印出实体,然后把片叠加在一起,成为一个立体物体。

3. 3D 打印发展简史

3D 打印最初的前身是增材制造技术,在发展期间,先后又被称为材料累加制造、快速成形、分层制造、实体自由制造、3D 喷印。通过各个不同的名称,可以了解其中表达的 3D 打印工艺的技术特点。3D 打印技术的发展历程如下。

1984 年,Charles Hull 研发了 3D 打印技术。

1986 年,Charles Hull 发明了利用紫外线照射将树脂凝固成形,以此来制造物体的技术,并获得了专利,将其命名为立体光刻技术,随后成立了 3D Systems 公司。同年,Helisys 公司的 Michael Feygin 研发了分层实体制造技术(LOM)。

1988 年,3D Systems 公司开发并生产了第一台 3D 打印设备 SLA-250,向公众出售。同年,Scott Crump 研发了熔融沉积成形技术(FDM)。

1989 年,Scott Crump 成立了 Stratasys 公司。同年,C. R. Dechard 博士发明了选区激光烧结技术(SLS)。

1991 年,Helisys 公司售出了第一台分层实体制造系统。

1992 年,Stratasys 公司售出了首批基于 FDM 的 3D 打印机器。同年,DTM 公司售出了第一台 SLS 系统。

1993 年,麻省理工学院的 Emanuel Sachs 教授创造了三维打印技术(3DP)的雏形,将陶瓷或金属粉末通过黏结剂黏在一起成形。

1995 年,麻省理工学院的毕业生 Jim Brecht 和 Tim Anderson 修改了喷墨打印机的方案,改为将约束溶剂挤压到粉末床,而不是将墨水挤压到纸上,改良出新的 3DP 技术,随后创立了 Z Corporation。

1996 年,3D Systems、Stratasys、Z Corporation 分别推出型号为 Actua 2100、Genisys、Z402 的 3D 打印机器,并第一次使用了“3D 打印机”的称谓。

1997 年,EOS 公司将三维立体系统业务出售给 3D Systems 公司,但其仍然是欧洲最大的 3D 打印设备生产商。

2005 年,Z Corporation 公司推出第一台高精度彩色 3D 打印机 Spectrum Z510。同年,英国巴斯大学的 Adrian Bowyer 发起了开放源码的 3D 打印机项目 RepRap,其目的是开发一种能进行自我复制的 3D 打印机。

2008 年,第一个基于 RepRap 的 3D 打印机 Darwin 被推出,同年,Objet Geometries 公司宣布推出革命性的“Connex500”快速成形系统,这是有史以来第一个能够同时使用几种不同材料的 3D 打印机。此后,许多生产厂商纷纷推出各种型号的 3D 打印机。

2011年8月,英国南安普顿大学的工程师制造出世界上第一架3D打印飞机;同年9月,维也纳科技大学推出了世界上最小的3D打印机,质量只有1.5 kg,报价约为1200欧元。

2012年,MakerBot个人3D打印机投放市场,其借鉴了RepRap三维打印技术,价格合理,可家用。同年3月,维也纳大学的研究人员利用3D打印技术制作了一辆长度不到0.3 mm的赛车模型,突破了3D打印的最小极限;7月,比利时International University College Leuven的一个研究小组测试了一辆基本由3D打印制造的小型赛车,速度可达140 km/h;12月,美国分布式防御组织成功测试了3D打印的枪支弹夹。

2012年至今,3D打印进入快速发展的阶段,新的技术原理和方法层出不穷,新的设备不断被开发出来,3D打印企业如雨后春笋般涌现,领先的企业进入规模化发展进程。

4. 主要的3D打印方法

(1) 熔融沉积制造

熔融沉积制造(简称FDM)是将丝状材料加热熔化后,通过计算机控制的三维打印头挤出,按打印模型截面数据的轮廓和填充轨迹运动,挤出的材料迅速冷却,与底层和前面的成形轨迹黏结在一起,形成一层零件截面后,工作台下移一个分层厚度,如此反复,逐层堆积出三维实体。FDM打印成形件的强度和精度较高,但零件表面较为粗糙,需要进行后处理。FDM的主要加工对象为热塑性材料、蜡和可食用材料组成的实体。图1-1所示为FDM成形原理示意图。

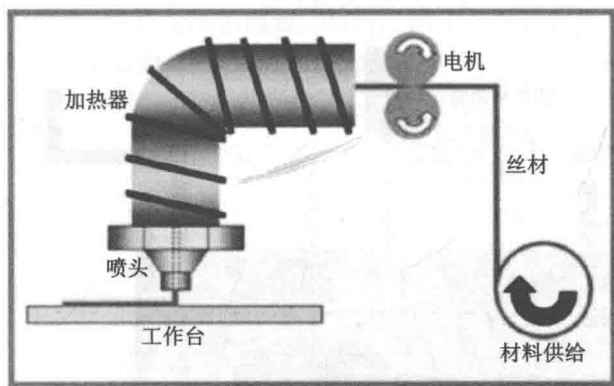


图 1-1 FDM 成形原理示意图

图1-2所示为运用FDM技术打印成形的人体半身像。

(2) 立体平板印刷

立体平板印刷(简称SLA)技术,也称为光固化成形,是以对紫外光非常敏感的液态光敏树脂为原料,通过计算机控制的紫外激光,按零件分层截面信息对光

敏树脂表面进行逐点扫描,被扫描的光敏树脂发生光聚合反应而形成零件的一个薄层后,工作台托板下移一个层厚,等重新覆盖新的液态树脂,再继续打印下一层,直到打印件完全成形。该技术成形速度较快,尺寸精度高,表面质量好,但成本较高。图 1-3 所示为 SLA 成形原理示意图。

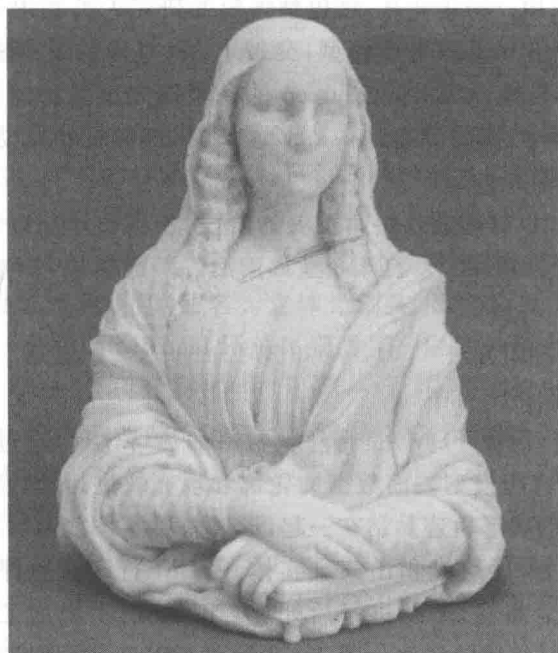


图 1-2 FDM 成形的人体半身像

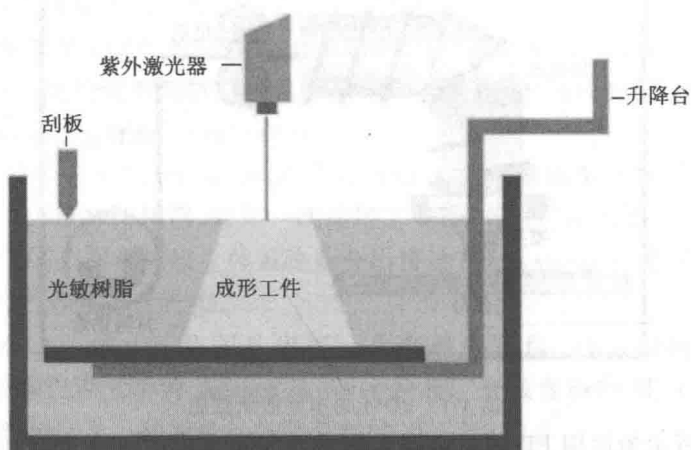


图 1-3 SLA 成形原理示意图

图 1-4 所示为采用 SLA 技术成形的国际象棋棋子。