



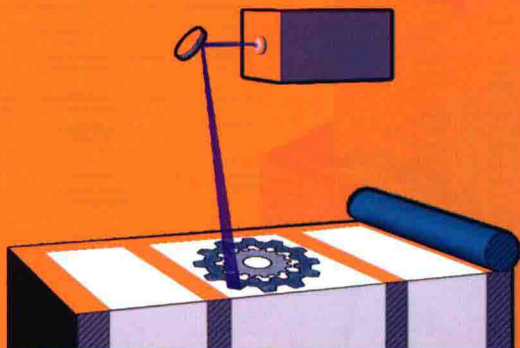
国家科学技术学术著作出版基金资助  
湖北省学术著作出版专项资金资助项目  
**3D打印前沿技术丛书**  
丛书顾问◎卢秉恒 丛书主编◎史玉升

# 激光选区 烧结3D打印技术

(上册)

闫春泽 史玉升 魏青松 著  
文世峰 李昭青 著

JIGUANG XUANQU  
SHAOJIE 3D DAYIN JISHU



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>



国家科学技术学术著作出版基金资助  
湖北省学术著作出版专项资金资助项目  
**3D打印前沿技术丛书**

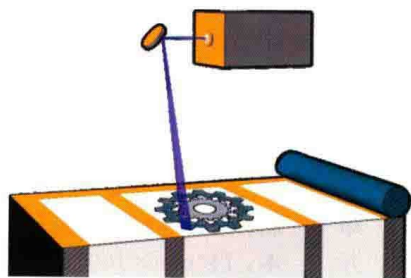
丛书顾问◎卢秉恒 丛书主编◎史玉升

# 激光选区 烧结3D打印技术

(上册)

闫春泽 史玉升 魏青松 ◎著  
文世峰 李昭青

JIGUANG XUANQU  
SHAOJIE 3D DAYIN JISHU



 华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 简 介

本书以华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室快速制造中心 20 余年的研究成果为基础,全面系统地介绍了激光选区烧结 3D 打印技术的理论和方法。

第 1 章概述了激光选区烧结技术的发展状况及工艺原理。第 2 章介绍了激光选区烧结装备及控制系统,重点讲解了温控和激光扫描系统原理及设计优化。第 3 章研究了软件算法及路径规划,分析了其对激光选区烧结成形质量的影响规律。第 4 章、第 5 章分别介绍了高分子和无机非金属材料制备及成形工艺研究。第 6 章研究了激光选区烧结成形精度的影响因素及调控方法。第 7 章研究了激光选区烧结关键技术数值分析,采用数值模拟方法分析了预热场和成形件致密化过程。第 8 章介绍了激光选区烧结技术的典型应用案例。

本书内容深入浅出,兼顾了不同知识背景读者的需求,既保证内容新颖,反映国内外最新研究成果,又有理论知识探讨和实际应用案例。因此,本书既可供不同领域的工程技术人员阅读,也可作为相关专业在校师生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

激光选区烧结 3D 打印技术:上、下册/闫春泽等著. —武汉:华中科技大学出版社,2019.3  
(3D 打印前沿技术丛书)  
ISBN 978-7-5680-4709-8

I. ①激… II. ①闫… III. ①立体印刷-印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 052308 号

激光选区烧结 3D 打印技术(上、下册)

闫春泽 史玉升 魏青松 著  
文世峰 李昭青

JIGUANG XUANQU SHAOJIE 3D DAYIN JISHU

策划编辑:张少奇

责任编辑:戢凤平 罗 雪

封面设计:原色设计

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:湖北新华印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:43.25

字 数:891 千字

版 次:2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:358.00 元(含上册、下册)



华中出版

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



## 3D 打印前沿技术丛书

### 顾问委员会

- 主任委员 卢秉恒(西安交通大学)  
副主任委员 王华明(北京航空航天大学)  
                  聂祚仁(北京工业大学)

### 编审委员会

- 主任委员 史玉升(华中科技大学)  
委    员 (按姓氏笔画排序)  
朱    胜(中国人民解放军陆军装甲兵学院)  
刘利刚(中国科学技术大学)  
闫春泽(华中科技大学)  
李涤尘(西安交通大学)  
杨永强(华南理工大学)  
杨继全(南京师范大学)  
陈继民(北京工业大学)  
林    峰(清华大学)  
宗学文(西安科技大学)  
单忠德(机械科学研究总院集团有限公司)  
赵吉宾(中国科学院沈阳自动化研究所)  
贺    永(浙江大学)  
顾冬冬(南京航空航天大学)  
黄卫东(西北工业大学)  
韩品连(南方科技大学)  
魏青松(华中科技大学)



## About Authors 作者简介



**闫春泽** 华中科技大学教授、博士生导师,华中科技大学快速制造中心主任。入选湖北省百人计划、湖北省楚天学者计划和武汉市 3551 光谷人才计划。2003 年进入华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室攻读博士学位,主要研究方向为激光选区烧结(SLS)增材制造材料及成形工艺。2010—2015 年在英国埃克塞特大学(University of Exeter)担任研究员(research fellow),从事金属点阵结构设计与激光选区熔化(SLM)增材制造研究。



**史玉升** 华中科技大学“华中学者”领军岗特聘教授。现任华中科技大学材料科学与工程学院党委书记,数字化材料加工技术与装备国家地方联合工程实验室(湖北)主任,国防科技创新特区主题专家组首席科学家,中国增材制造产业联盟专家委员会委员,中国机械工程学会增材制造(3D 打印)技术分会副主任委员,世界 3D 打印技术产业联盟副理事长,湖北省 3D 打印产业技术创新战略联盟理事长等职务。入选中国十大科技进展 1 项,获国家技术发明奖二等奖 1 项、国家科学技术进步奖二等奖 2 项、省部级一等奖和二等奖各 5 项、国际发明专利奖 2 项、湖北省专利优秀奖 1 项,入选湖北高校十大科技成果转化项目 1 项。获中国发明创业奖特等奖暨当代发明家、中国科学十大杰出创新人物称号。获十佳全国优秀科技工作者提名奖、武汉市科技重大贡献个人奖、湖北五一劳动奖章等殊荣。享受国家政府特殊津贴。



**魏青松** 华中科技大学“华中学者”特聘教授,材料科学与工程学院博士生导师,材料工程与计算机应用系副主任,材料成形与模具技术国家重点实验室 PI、教授,华中科技大学学术前沿青年团队负责人。担任中国机械工程学会增材制造(3D 打印)技术分会副总干事、中国机械工程学会特种加工分会理事、中国模具工业协会装备委员会副主任。主要从事增材制造(3D 打印)研究与教学工作。成果已在航空发动机机匣熔模、高性能金属模具及个性化人体植入物等方面应用。在 *Acta Materialia*、《中国科学》等权威期刊上发表论文 150 余篇(SCI 他引 500 余次,ESI 高被引论文 1 篇)。担任全国增材制造青年科学家论坛主席,受邀报告 10 余次。获 5 项省部级科技奖励。



# 总序一

“中国制造 2025”提出通过三个十年的“三步走”战略,使中国制造综合实力进入世界强国前列。近三十年来,3D 打印(增材制造)技术是欧美日等高端工业产品开发、试制、定型的重要支撑技术,也是中国制造业创新、重点行业转型升级的重大共性需求技术。新的增材原理、新材料的研发、设备创新、标准建设、工程应用,必然引起各国“产学研投”界的高度关注。

3D 打印是一项集机械、计算机、数控、材料等多学科于一体的,新的数字化先进制造技术,应用该技术可以成形任意复杂结构。其制造材料涵盖了金属、非金属、陶瓷、复合材料和超材料等,并正在从 3D 打印向 4D、5D 打印方向发展,尺度上已实现 8 m 构件制造并向微纳制造发展,制造地点也由地表制造向星际、太空制造发展。这些进展促进了现代设计理念的变革,而智能技术的融入又会促成新的发展。3D 打印应用领域非常广泛,在航空、航天、航海、潜海、交通装备、生物医药、康复产业、文化创意、创新教育等领域都有非常诱人的前景。中国高度重视 3D 打印技术及其产业的发展,通过国家基金项目、攻关项目、研发计划项目支持 3D 打印技术的研发推广,经过二十多年培养了一批老中青结合、具有国际化视野的科研人才,国际合作广泛深入,国际交流硕果累累。作为“中国制造 2025”的发展重点,3D 打印在近几年取得了蓬勃发展,围绕重大需求形成了不同行业的示范应用。通过政策引导,在社会各界共同努力下,3D 打印关键技术不断突破,装备性能显著提升,应用领域日益拓展,技术生态和产业体系初步形成;涌现出一批具有一定竞争力的骨干企业,形成了若干产业集聚区,整个产业呈现快速发展局面。

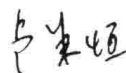
华中科技大学出版社紧跟时代潮流,瞄准 3D 打印科学技术前沿,组织策划了本套“3D 打印前沿技术丛书”,并且,其中多部将与爱思唯尔(Elsevier)出版社一起,向全球联合出版发行英文版。本套丛书内容聚焦前沿、关注应用、涉猎广泛,不同领域专家、学者从不同视野展示学术观点,实现了多学科交叉融合。本套丛书采用开放选题模式,聚焦 3D 打印技术前沿及其应用的多个领域,如航空航天、

工艺装备、生物医药、创新设计等领域。本套丛书不仅可以成为我国有关领域专家、学者学术交流与合作的平台,也是我国科技人员展示研究成果的国际平台。

近年来,中国高校设立了 3D 打印专业,高校师生、设备制造与应用的相关工程技术人员、科研工作者对 3D 打印的热情与日俱增。由于 3D 打印技术仅有三十多年的发展历程,该技术还有待于进一步提高。希望这套丛书能成为有关领域专家、学者、高校师生与工程技术人员之间的纽带,增强作者、编者与读者之间的联系,促进作者、读者在应用中凝练关键技术问题和科学问题,在解决问题的过程中,共同推动 3D 打印技术的发展。

我乐于为本套丛书作序,感谢为本套丛书做出贡献的作者和读者,感谢他们对本套丛书长期的支持与关注。

西安交通大学教授  
中国工程院院士



2018 年 11 月



## 总序二

3D 打印是一种采用数字驱动方式将材料逐层堆积成形的先进制造技术。它将传统的多维制造降为二维制造,突破了传统制造方法的约束和限制,能将不同材料自由制造成空心结构、多孔结构、网格结构及功能梯度结构等,从根本上改变了设计思路,即将面向工艺制造的传统设计变为面向性能最优的设计。3D 打印突破了传统制造技术对零部件材料、形状、尺度、功能等的制约,几乎可制造任意复杂的结构,可覆盖全彩色、异质、功能梯度材料,可跨越宏观、介观、微观、原子等多尺度,可整体成形甚至取消装配。

3D 打印正在各行业中发挥作用,极大地拓展了产品的创意与创新空间,优化了产品的性能;大幅降低了产品的研发成本,缩短了研发周期,极大地增强了工艺实现能力。因此,3D 打印未来将对各行业产生深远的影响。为此,“中国制造 2025”、德国“工业 4.0”、美国“增材制造路线图”,以及“欧洲增材制造战略”等都视 3D 打印为未来制造业发展战略的核心。

基于上述背景,华中科技大学出版社希望由我组织全国相关单位撰写“3D 打印前沿技术丛书”。由于 3D 打印是一种集机械、计算机、数控和材料等于一体的新型先进制造技术,涉及学科众多,因此,为了确保丛书的质量和前沿性,特聘请卢秉恒、王华明、聂祚仁等院士作为顾问,聘请 3D 打印领域的著名专家作为编审委员会委员。

各单位相关专家经过近三年的辛勤努力,即将完成 20 余部 3D 打印相关学术著作的撰写工作,其中已有 2 部获得国家科学技术学术著作出版基金资助,多部将与爱思唯尔(Elsevier)联合出版英文版。

本丛书内容覆盖了 3D 打印的设计、软件、材料、工艺、装备及应用等全流程,集中反映了 3D 打印领域的最新研究和应用成果,可作为学校、科研院所、企业等





单位有关人员的参考书,也可作为研究生、本科生、高职高专生等的参考教材。

由于本丛书的撰写单位多、涉及学科广,是一个新尝试,因此疏漏和缺陷在所难免,殷切期望同行专家和读者批评与指正!

华中科技大学教授

2018 年 11 月

# 前 言

3D 打印,也称增材制造、快速成形等,是一项集机械、计算机、数控和材料于一体的、全新的数字化先进制造技术。3D 打印技术采用分层制造并叠加的原理,理论上可成形任意复杂结构,因此可将传统的面向制造工艺的零部件设计变为面向性能的全新设计,这一转变被称为当今制造业的一场革命。

激光选区烧结(selective laser sintering, SLS)技术属于 3D 打印技术的一种,它借助于计算机辅助设计与制造,采用分层制造叠加原理,通过激光烧结将粉末材料直接成形为三维实体零件,不受成形零件形状复杂程度的限制,不需任何工装模具。SLS 技术具有成形件复杂度高、制造周期短、成本低、成形材料广泛、材料利用率高等优点,因此成为最具发展前景的 3D 打印技术之一,现已广泛用于航空、航天、医疗、机械等领域。华中科技大学从 1992 年开始 SLS 技术的理论与应用研究工作,是中国最早开展此项技术研究的单位之一。目前,已研发成功多种型号的 SLS 装备及其配套的成形粉末材料,如聚苯乙烯、尼龙及其复合材料、覆膜砂等,并实现产业化,在国内外得到广泛应用,为关键行业核心产品的快速自主开发和小批量制造提供了有利手段,大大缩短了企业新产品的研制周期,取得了显著的社会效益和经济效益。相关成果获国家科学技术进步奖二等奖和国家技术发明奖二等奖各 1 项,省部级一等奖 3 项,省部级自然科学奖、技术发明奖、科技进步奖二等奖各 1 项,发明专利 50 多项,研发的“世界最大激光快速制造装备”被“两院”院士评为 2011 年中国十大科技进展之一。

为了培养 SLS 技术方面的科技人才,更深入地研究此项技术,使其在各行各业更加广泛地推广应用,华中科技大学快速制造中心团队凝练和总结了本团队在 SLS 技术方面的研究成果,形成了本书。本书对激光选区烧结 3D 打印的装备、软件算法及控制系统、材料制备及工艺技术、精度控制、仿真分析和应用实例等进行了全面系统的论述。全书共 8 章,第 1 章概述了激光选区烧结技术,主要包括发展概况、原理、工艺特点、应用;第 2 章论述了 SLS 装备及控制系统,主要包括装备系统组成、温度控制系统和振镜式扫描系统;第 3 章论述了软件算法及路径规划,主要包括 STL 文件容错、快速切片算法、STL 模型布尔运算、支撑生成算法、系统数据处理等;第 4、5 章论述了 SLS 材料及成形工艺,主要包括高分子、陶瓷和覆膜砂粉末材料的制备方法、成形机理与后处理工艺等;第 6 章论述了 SLS 成形精度的控制;第 7 章论述了 SLS 关键技术数值分析;第 8 章介绍了 SLS 技术的典型实践案例,包括 SLS 制造铸造熔模、砂型(芯)、具有随形冷却流道的注塑模具、陶瓷及

塑料功能零件的应用实例。

在本书的撰写过程中,我们以 20 多年来从事激光选区烧结 3D 打印技术的科研成果为基础,兼顾了不同知识背景读者的需求,既保证内容新颖,反映最新研究成果,又有理论知识探讨和实际应用案例。因此,本书既可供不同领域的工程技术人员阅读,也可作为相关专业在校师生的参考书。

本书集中反映了华中科技大学快速制造中心团队的有关研究成果,这些成果是由上百人的研究团队经过几十年的长期坚持研究而取得的。本团队的主要研究成员除了本书的作者以外,还包括:黄树槐教授、陈森昌博士、刘洁博士、蔡道生博士、张李超博士、林柳兰博士、李湘生博士、杨劲松博士、刘锦辉博士、郭开波博士、汪艳博士、鲁中良博士、钱波博士、刘凯博士、杜艳迎博士、朱伟博士、黎志冲硕士、孙海霄硕士、钟建伟硕士、吴传宝硕士、杨力硕士、徐文武硕士、程迪硕士、郭婷硕士、马高硕士、刘主峰硕士等。衷心地感谢华中科技大学快速制造中心团队的各位教师、工程技术人员和历届研究生长期不懈的辛勤工作!本书的撰写参考了相关的研究论文和成果,在此向这些研究论文和成果的作者们表示感谢!在本书的撰写过程中,杨磊博士生、陈鹏博士生、伍宏志博士生等付出了辛勤的劳动,在此表示感谢!

由于我们是首次以激光选区烧结 3D 打印技术作为一条主线进行撰写,涉及内容广泛,有些内容是我们的最新研究成果,有些研究工作还在继续,我们对该技术的认识还在不断深化,对一些问题的理解还不够深入,加之作者的学术水平和知识面有限,因此书中的错误和缺陷在所难免,殷切地期望同行专家和读者的批评指正。

闫春泽

2018 年 06 月

# 上册目录

<b>第1章 绪论</b> .....	(1)
1.1 激光选区烧结技术的发展概况 .....	(1)
1.2 激光选区烧结的工艺原理 .....	(1)
1.3 激光选区烧结的工艺特点 .....	(2)
1.4 激光选区烧结的应用 .....	(3)
<b>第2章 装备及控制系统</b> .....	(4)
2.1 SLS 装备系统组成 .....	(4)
2.2 SLS 装备温度控制系统 .....	(5)
2.2.1 温控系统组成 .....	(5)
2.2.2 温控算法 .....	(6)
2.2.3 温度控制稳定性分析 .....	(15)
2.2.4 实际案例 .....	(16)
2.3 振镜式激光扫描系统 .....	(17)
2.3.1 振镜式激光扫描系统设计与优化 .....	(17)
2.3.2 振镜式激光扫描系统扫描控制卡设计 .....	(41)
2.3.3 激光选区烧结系统的自动化控制及系统监控 .....	(55)
2.3.4 振镜扫描及激光选区烧结系统运行试验验证 .....	(70)
本章参考文献 .....	(86)
<b>第3章 软件算法及路径规划</b> .....	(92)
3.1 STL 文件容错、快速切片算法 .....	(92)
3.1.1 STL 文件的错误分析 .....	(93)
3.1.2 STL 文件容错切片策略 .....	(96)
3.1.3 算法的实现方法 .....	(98)
3.1.4 算法的时间和空间复杂度分析 .....	(101)
3.1.5 算法的实测性能 .....	(103)
3.1.6 小结 .....	(104)
3.2 STL 模型布尔运算的研究与实现 .....	(105)
3.2.1 STL 网格模型的相关定义与规则 .....	(105)
3.2.2 三维实体正则集合运算原理 .....	(107)

3.2.3	STL 模型布尔运算的实现步骤	(109)
3.2.4	STL 文件的存储格式	(110)
3.2.5	STL 模型的拓扑重构	(113)
3.2.6	相交性测试	(115)
3.2.7	交线环探测	(121)
3.2.8	相交表面的剖分	(122)
3.2.9	位置关系测试	(130)
3.2.10	程序界面和计算实例	(138)
3.2.11	STL 模型布尔运算的应用初探	(139)
3.2.12	小结	(140)
3.3	相交性测试优化方法研究	(140)
3.3.1	空间分解法	(141)
3.3.2	层次包围体树法	(144)
3.3.3	小结	(148)
3.4	基于递归拾取和标识计算的网格支撑生成算法	(149)
3.4.1	支撑生成的算法原理	(150)
3.4.2	支撑区域的快速递归拾取	(151)
3.4.3	支撑线段的标识计算	(156)
3.4.4	网格支撑的生成	(160)
3.4.5	支撑工艺实验分析与对比	(164)
3.4.6	小结	(167)
3.5	3D 打印振镜扫描系统的数据处理	(168)
3.5.1	基于切弧过渡的连接优化	(168)
3.5.2	基于 F-Theta 物镜的双振镜快速校正算法	(173)
3.5.3	扫描数据的延迟处理	(177)
3.5.4	多线程扫描数据传输处理	(183)
3.5.5	小结	(185)
	本章参考文献	(185)
<b>第 4 章</b>	<b>SLS 高分子材料制备及成形工艺研究</b>	<b>(196)</b>
4.1	SLS 高分子材料概述	(196)
4.2	激光选区烧结材料的制备方法	(202)
4.2.1	机械混合法	(202)
4.2.2	低温粉碎法	(202)
4.2.3	溶剂沉淀法	(204)

4.2.4 其他制备方法 .....	(205)
4.3 高分子材料的制备与成形工艺 .....	(205)
4.3.1 尼龙粉末的制备与 SLS 成形工艺 .....	(206)
4.3.2 聚苯乙烯的 SLS 成形工艺与后处理 .....	(234)
4.3.3 聚碳酸酯的 SLS 成形工艺及其制件性能 .....	(240)
4.4 高分子复合材料的制备与成形工艺 .....	(245)
4.4.1 碳纤维/尼龙复合粉末的制备及 SLS 成形工艺 .....	(245)
4.4.2 累托石/尼龙复合粉末的制备及 SLS 成形工艺 .....	(266)
4.4.3 钛酸钾晶须/尼龙复合粉末的制备及 SLS 成形工艺 .....	(278)
4.4.4 无机填料/尼龙复合粉末的 SLS 工艺与制件性能 .....	(287)
4.4.5 纳米二氧化硅/尼龙复合粉末的制备及 SLS 成形工艺 .....	(297)
4.4.6 尼龙覆膜铝复合粉末的制备及 SLS 工艺研究 .....	(307)
4.4.7 间接 SLS 用尼龙覆膜球形碳钢的制备、成形及后处理 .....	(325)
4.4.8 尼龙/铜复合粉末的制备及 SLS 成形工艺 .....	(349)
本章参考文献 .....	(366)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 激光选区烧结技术的发展概况

激光选区烧结(selective laser sintering, SLS)技术借助于计算机辅助设计与制造,采用分层制造叠加原理,通过激光烧结粉末材料直接成形三维实体零件。SLS 技术属于 3D 打印技术中的一种,是由美国德克萨斯大学的研究生 Carl DeCard 于 1986 年发明的。美国德克萨斯大学于 1988 年研制成功第一台 SLS 样机,并获得这一技术的发明专利,于 1992 年授权美国 DTM 公司(现已并入美国 3D Systems 公司)将 SLS 系统商业化。

## 1.2 激光选区烧结的工艺原理

SLS 技术基于离散堆积制造原理,将三维 CAD 模型沿 Z 向分层切片,并生成 STL 文件,文件中保存着零件实体的截面信息。然后利用激光的热作用,根据零件的切片信息,将固体粉末材料层层烧结堆积,最终成形出零件原型或功能零件。由此,SLS 技术制造零件的基本过程为:

- (1)设计构建零件 CAD 模型;
- (2)将模型转化为 STL 文件(即将零件模型以一系列三角形来拟合);
- (3)将 STL 文件进行横截面切片分割;
- (4)激光热烧结分层制造零件;
- (5)进行清粉、打磨等处理。

其中,步骤(1)可以通过两种途径实现。一种是在没有模板零件实体的情况下,并且在 CAD 软件的设计能力允许的条件下,通过 Pro/E、UG 等 CAD 软件来直接设计构建零件模型;另一种则是在有模板零件的前提下,通过逆向工程(reverse engineering, RE)来反求获得零件的轮廓信息,并同时生成 CAD 模型文件。步骤(2)的三维 STL 文件可以由上述 CAD 模型文件转换得到。将 STL 文件输入 SLS 系统计算机后,成形过程中通过操作程序对 STL 文件进行截面切分,并最终通过激光束扫描成形零件。SLS 系统的基本结构和工作原理如图 1.1 所示。SLS 成形过程中,激光束每完成一层切片面积的扫描,工作缸相对于激光束焦平

面(成形平面)相应下降一个切片层厚的高度,而与铺粉辊同侧的储粉缸会对应上升一定高度,该高度与切片层厚存在一定比例关系。随着铺粉辊向工作缸方向的平动与转动,储粉缸中超出焦平面高度的粉末层被推移并填补到工作缸粉末的表面,即前一层的扫描区域被覆盖,覆盖的厚度为切片层厚。随后,激光束进行下一轮的扫描,如此反复,直到完成最后截面层的扫描为止。

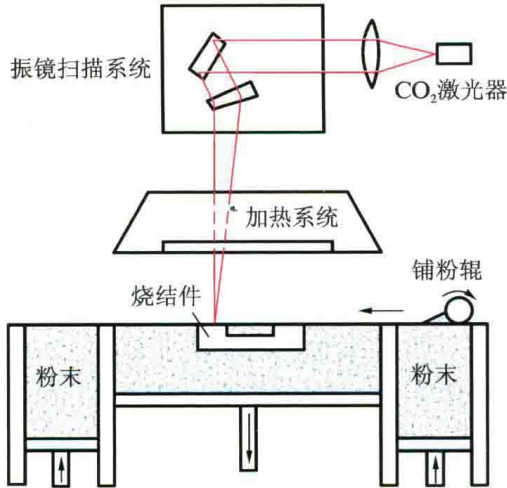


图 1.1 SLS 系统的基本结构和工作原理(CO<sub>2</sub> 激光器)

### 1.3 激光选区烧结的工艺特点

SLS 工艺的特点如下:

(1)成形材料广泛。SLS 工艺涵盖了高分子及其复合材料如尼龙(PA)、尼龙/玻璃微珠等,各种金属、陶瓷基复合粉末(含有低熔点黏结剂)以及覆膜砂(含有酚醛树脂)等。

(2)应用范围广。成形材料的多样性,决定了 SLS 技术可以使用各种不同性质的粉末材料来成形满足不同用途的复杂零件。SLS 不仅可以制备各种模型和具有实际用途的塑料功能件,还可以通过与铸造技术相结合迅速获得金属零件,而不必开模具和翻模,而且可以用间接法制造结构复杂的陶瓷零件。

(3)材料利用率高。在 SLS 过程中,未被激光扫描到的粉末材料还处于松散状态,可以被重复使用,具有较高的材料利用率。

(4)无须支撑。SLS 成形过程中,未烧结的粉末可对空腔和悬臂结构起支撑作用,不必像光固化成形(stereo lithography apparatus, SLA)和熔融沉积成形(fused deposition modeling, FDM)等 3D 打印工艺需再另外设计支撑结构。

基于以上特点,SLS 技术自诞生以来得到了迅速的发展,如在塑料功能零件、铸造熔模、砂型(芯)的成形,以及间接法制造陶瓷零件等方面都得到了广泛应用。



## 1.4 激光选区烧结的应用

SLS 技术涉及计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机数字控制(CNC)、激光技术和材料科学等先进制造技术,是一类多学科交叉的科学技术。该技术具有成形材料广泛(包括金属、陶瓷、高聚物等)、无浪费、安全、无污染、低成本等优点,可以快速制造出复杂原型件和功能件,制造过程中无须支撑,因此一直在 3D 打印领域中占有重要地位。经过近 20 年的发展,SLS 技术已从单纯为方便造型设计而制造高分子材料原型发展到以获得实用功能零件为目的的塑料/金属/陶瓷零件的成形制造,应用领域不断拓宽。而且得益于成形材料和相应工艺的优化以及图形算法的不断改进,其制造周期明显缩短,原型件的精度和强度都有所提高。目前,SLS 技术主要应用于以下几个方面:

- (1)新产品的快速研制和开发;
- (2)模具的快速制造;
- (3)间接法制造陶瓷、金属零件;
- (4)直接或间接制造塑料功能零件;
- (5)医疗卫生方面的临床辅助诊断;
- (6)微型机械的研究开发;
- (7)艺术品的制造。