

3D打印技术系列丛书

丛书主编 沈其文 王晓斌

三维测量技术及应用

● 主编 李中伟



3D



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

3D 打印技术系列丛书

丛书主编 沈其文 王晓斌

三维测量技术及应用

主编 李中伟

参编 陈义明 易子川 姚善良 彭安心 金鹏飞
赖新辉 马春雨 刘翔武 郑新明 毕超东

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共7章,主要包括:3D打印技术概述,工件3D打印数字模型建立,常用测量方法及设备简介,面结构光三维测量技术原理,面结构光三维测量设备原理及操作,三维测量与数据处理实例,3D技术的发展方向及应用案例分析。

本书以论述面结构光三维测量技术为主,介绍与之相关的正逆向3D打印建模,并以PowerScan系列蓝光三维测量设备为例,详细介绍了设备操作及数据处理方法。

本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相关专业的教材与参考书,以及产品开发和制造业技术人员的参考书,亦可供关心制造技术发展的不同领域、不同行业的人员和学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

三维测量技术及应用/李中伟主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.9

3D打印技术系列丛书

ISBN 978-7-5606-4283-3

I. ①三… II. ①李… III. ①三维—测量技术 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第217040号

策 划 陈 婷

责任编辑 马 琼 陈 婷

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西百花印刷有限责任公司分公司

版 次 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

开 本 787毫米×960毫米 1/16 印 张 14.5

字 数 257千字

印 数 1~2000册

定 价 52.00元

ISBN 978-7-5606-4283-3/TS

XDUP 4575001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

序

3D 打印技术又称为快速成形技术或增材制造技术,该技术在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初期起源于美国,是近 30 年来世界制造技术领域的一次重大突破。3D 打印技术是光学、机械、电气、计算机、数控、激光以及材料科学等技术的集成,它可将数学几何模型的设计迅速、自动地物化为具有一定结构和功能的原型或零件。3D 打印技术改变了传统制造的理念和模式,是制造业最具有代表性的颠覆技术。3D 打印技术解决了国防、航空航天、交通运输、生物医学等重点领域高端复杂精细结构关键零部件的制造难题,并提供了应用支撑平台,有极为重要的应用价值,对推进第三次工业革命具有举足轻重的作用。随着 3D 打印技术的快速发展,其应用将越来越普及。

在新的世纪,随着信息、计算机、材料等技术的发展,制造业的发展将越来越依赖于先进制造技术,特别是 3D 打印制造技术。2015 年国务院发布的《中国制造 2025》中,3D 打印技术及其装备被正式列入十大重点发展领域。可见,3D 打印技术已经被提升到国家重要战略基础产业的高度。3D 打印先进制造技术的发展需要大批创新型的人才,这对工科院校、特别是职业技术学院及职业院校学生的培养提出了新的要求。

我国 3D 打印技术正在快速成长,其应用范围不断扩大,但 3D 打印技术的推广与应用尚在起步阶段,3D 打印技术人才极度匮乏,因此,出版一套高水平的 3D 打印技术系列丛书,不仅可以让最新的学术科研成果以著作的方式指导从事 3D 打印技术研发的工程技术人员,以进一步提高我国“智能制造”行业技术研究的整体水平,同时对人才培养、技术提升及 3D 打印产业的发展也具有重大意义。

本丛书主要介绍 3D 打印技术原理、主流机型系列的工艺成形原理、打印材料的选用、实际操作流程以及三维建模和图形操作软件的使用。本丛书共五册,分别为:《液态树脂光固化 3D 打印技术》(莫健华主编)、《选择性激光烧结 3D 打印技术》(沈其文主编)、《黏结剂喷射与熔丝制造 3D 打印技术》(王运赣、王宣主编)、《选择性激光熔化 3D 打印技术》(陈国清主编)、《三维测量技术及

应用》(李中伟主编)。

本丛书由广东奥基德信机电有限公司与西安电子科技大学出版社共同策划,由华中科技大学自20世纪90年代末就从事3D打印技术研发并具有丰富实践经验的教授,结合国内外典型的3D打印机及广东奥基德信机电有限公司的工业级SLS、SLM、3DP、SLA、FFF(FDM)3D打印机和三维扫描仪等代表性产品的特性以及其他各院校、企业产品的特性进行编写,其中沈其文教授对每本书的编写思路、目录和内容均进行了仔细审阅,并从整体上确定全套丛书的风格。

由于编写时间仓促,且要兼顾不同层次读者的需求,本书涉及的内容非常广泛,丛书中的不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2016年6月于广东佛山

前 言

三维测量技术是增量(材)制造技术体系的重要组成部分,可用于制造前期的逆向设计和制造后期的精度检测。在现有的三维测量技术中,面结构光三维测量技术由于具有测量速度快、测量精度高等优势,成为目前最为先进的三维测量技术之一。

华中科技大学快速制造中心从2001年开始,在国家科技支撑计划、欧盟框架七项目、国家自然科学基金、湖北省自然科学基金创新群体和博士后科学基金等多项国家与省部级科研项目的资助下,完成了相位计算、系统参数标定、全局误差控制和高速计算模式构建等多项关键技术的研究工作,研发了具有完全自主知识产权的PowerScan系列面结构光三维测量系统,获国内及国际多项发明专利,并实现了产业化,目前已在国防、航空航天、汽车、铁路、电力、生物医学、文物数字化、教学等领域得到了广泛应用。

本书对多种三维建模方法、三维测量原理与方法、面结构光三维测量技术及操作方法、三维测量与数据处理等方面的知识进行了全面系统的论述。全书共分为7章,第1章3D打印技术概论;第2章论述了3D建模方法,主要分为正向工程、逆向工程和正逆向混合设计;第3章论述了现有的多种三维测量原理、方法及测量设备现状,主要包括接触式测量和非接触式测量;第4章介绍了面结构光三维测量技术原理;第5章介绍面结构光三维测量设备原理及操作,主要介绍PowerScan系列快速三维测量系统的操作方法,包括系统简介、系统操作指南、系统安装方法、软件界面介绍和系统操作说明;第6章介绍了三维测量与数据处理实例,主要包括扫描流程和数据处理方法,处理后的数据可直接应用于3D打印;第7章介绍了3D打印技术的发展方向,并对部分典型的应用案例进行分析。

在本书的内容安排上,我们以近十几年来三维测量技术领域的科研成果为基础,同时兼顾了不同知识背景读者的需求,既保证内容新颖,能反映最新研究成果,又有理论知识探讨和实际应用实例分析。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。

本书凝结了华中科技大学快速制造团队的有关科研成果,这些成果是由上百人经过几十年的长期坚持研究而取得的,本书作者只是该研究团队中从事三维测量技术研究的部分代表。因此,成书之际,衷心地感谢华中科技大学快速

制造团队的各位教师、工程技术人员和历届研究生长期不懈的辛勤工作！衷心地感谢科技部、教育部、湖北省、武汉市等部门对此项目的资助，衷心地感谢中国科学院出版基金的资助，也向为本书出版作出贡献的所有人员表示感谢！本书在撰写的过程中，参考了相关的研究成果和论文，在此向这些同行表示感谢！

由于本书中部分内容是我们的最新研究成果，且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之中，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，因此书中的不足之处在所难免，殷切地期望同行专家和读者批评指正。

李中伟

2016年3月于华中科技大学

目 录

第 1 章 3D 打印技术概述	1
1.1 3D 打印技术简介	1
1.1.1 3D 打印技术的概念	1
1.1.2 3D 打印技术的发展史	2
1.1.3 3D 打印技术的特点和优势	5
1.2 3D 打印技术的工作原理	6
1.3 3D 打印技术的全过程	8
1.3.1 工件三维 CAD 模型文件的建立	9
1.3.2 三维扫描仪	10
1.3.3 三维模型文件的近似处理与切片处理	11
1.4 3D 打印机的主流机型	12
1.4.1 立体光固化打印机	13
1.4.2 选择性激光烧结打印机	14
1.4.3 选择性激光熔化打印机	15
1.4.4 熔丝制造成形打印机	16
1.4.5 分层实体打印机	18
1.4.6 黏结剂喷射打印机	19
1.5 3D 打印技术的应用与发展	21
1.5.1 3D 打印技术的应用	21
1.5.2 3D 打印技术与行业结合的优势	23
1.5.3 3D 打印技术在国内的发展现状	29
1.5.4 3D 打印技术在国内的发展趋势	31
1.5.5 3D 打印技术发展的未来	33
第 2 章 工件 3D 打印数字模型建立	35
2.1 3D 建模方法——正向工程	35
2.1.1 正向工程的原理及意义	35
2.1.2 正向工程的案例：地球仪拼图	36

2.1.3	常用软件介绍	37
2.1.4	典型软件(Rhino)应用实例	45
2.1.5	典型软件(SoildWorks)应用实例	59
2.1.6	典型软件(123D Design)应用实例	71
2.2	3D 建模方法——逆向工程	77
2.2.1	逆向工程的原理及意义	77
2.2.2	常用软件介绍	79
2.2.3	典型软件应用实例	83
2.3	设计方法——正逆向混合设计	96
2.3.1	常用软件 Geomagic Direct	97
2.3.2	混合设计实例	98
2.4	STL 数据	106
2.4.1	数据介绍	106
2.4.2	常用数据格式转换软件及方法	107
2.4.3	STL 数据修复的软件与方法	108
第 3 章	常用测量方法及设备简介	115
3.1	常用测量方法	115
3.1.1	接触式测量	115
3.1.2	非接触式测量	121
3.1.3	接触式与非接触式测量方法的优缺点	125
3.2	三维扫描仪应用与分类	127
3.2.1	应用领域	127
3.2.2	三维扫描仪分类	129
3.2.3	总结	141
第 4 章	面结构光三维测量技术原理	142
4.1	国内外研究现状	142
4.2	测量原理简介	144
4.2.1	相位移算法	144
4.2.2	系统参数标定	148
4.2.3	三维重建	151

第 5 章 面结构光三维测量设备原理及操作	153
5.1 PowerScan 系列快速三维测量系统简介	153
5.2 PowerScan 系列快速三维测量系统构造	157
5.2.1 系统框图	157
5.2.2 系统结构	157
5.3 PowerScan 系列快速三维测量系统安装调试	159
5.4 软件界面介绍	162
5.5 系统操作说明	164
5.5.1 建立工程	164
5.5.2 系统标定	165
5.5.3 扫描测量设置	174
5.5.4 选择模型拼接方式	175
5.6 扫描测量	176
5.6.1 黏贴标志点	176
5.6.2 标志点匹配	177
5.6.3 扫描测量	177
5.7 常见问题	181
第 6 章 三维测量与数据处理实例	183
6.1 高尔基头像扫描测量实例	184
6.2 唐三彩骏马扫描测量实例	188
6.3 OGGI 3D SH 三维扫描系统使用说明	197
6.3.1 软件界面介绍	197
6.3.2 系统标定	197
6.3.3 扫描以及后处理	202
6.3.4 常见故障排除	205
第 7 章 3D 技术的发展方向及应用案例分析	206
7.1 3D 技术的发展方向	206
7.1.1 3D 扫描技术的发展方向	206
7.1.2 3D 打印技术的发展方向	206
7.2 案例分析	207
7.2.1 工业制造领域	207

7.2.2 民用生活领域	215
7.2.3 生物医学领域	217
7.2.4 文化创意领域	219
参考文献	221



第1章 3D打印技术概述

3D打印技术改变了传统制造的理念和模式,是制造业有代表性的颠覆技术,也是近30年来世界制造技术领域的一次重大突破。3D打印技术解决了国防、航空航天、机械制造、交通运输、生物医学等重点领域关键零部件的制造难题,并提供了应用支撑平台,有极为重要的应用价值,对推进第三次工业革命具有举足轻重的作用。随着3D打印技术的快速发展,其应用将越来越普及。

1.1 3D打印技术简介

1.1.1 3D打印技术的概念

机械制造技术大致分为如下三种方式:

(1) 减材制造:一般是用刀具进行切削加工或采用电化学方法去除毛坯中不需要的材料,剩下的部分即是所需加工的零件或产品。

(2) 等材制造:利用模具成形,将液体或固体材料变为所需结构的零件或产品。铸造、锻压等均属于此种方式。

减材制造与等材制造均属于传统的制造方法。

(3) 增材制造:也称3D打印,是近20年发展起来的先进制造技术,它无需刀具及模具,是用材料逐层累积叠加制造所需实体的方法。

3D打印(Three Dimensional Printing, 3DP)技术在学术上又称为“添加制造”(Additive Manufacturing, AM)技术,也称为增材制造或增量制造。根据美国材料与试验协会(ASTM)2009年成立的3D打印技术委员会(F42委员会)公布的定义,3D打印技术是一种与传统材料加工方法截然相反的,基于三维CAD模型数据并通过增加材料逐层制造的方式,是一种直接制造与数学模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法。3D打印技术内容涵盖了与产品生命周期前端的“快速原型”(Rapid Prototyping, RP)和全生产周期的“快速制



造”(Rapid Manufacturing, RM) 相关的所有工艺、技术、设备类别及应用。

3D 打印技术在 20 世纪 80 年代后期起源于美国,是最近 20 多年来世界制造技术领域的一次重大突破。它可将已具数学几何模型的设计迅速、自动地物化为具有一定结构和功能的原型或零件。

分层制造技术(Layered Manufacturing Technique, LMT)、实体自由制造(Solid Freeform Fabrication, SEF)、直接 CAD 制造(Direct CAD Manufacturing, DCM)、桌面制造(Desktop Manufacturing, DTM)、即时制造(Instant Manufacturing, IM)与 3D 打印技术具有相似的内涵。3D 打印技术获得零件的途径不同于传统的材料去除或材料变形方法,而是在计算机控制下,基于离散/堆积原理采用不同方法堆积材料最终完成零件的成形与制造。从成形角度看,零件可视为由点、线或面叠加而成。3D 打印就是从 CAD 模型中离散得到点、面的几何信息,再与成形工艺参数信息结合,控制材料有规律、精确地由点到面,由面到体地堆积出所需零件。从制造角度看,3D 打印根据 CAD 造型生成零件的三维几何信息,转化为相应的指令后传输给数控系统,通过激光束或其他方法使材料逐层堆积而形成原型或零件,无需经过模具设计制作环节,极大地提高了生产效率,大大降低了生产成本,特别是极大地缩短了生产周期,被誉为制造业中的一次革命。

3D 打印技术集中体现了 CAD、建模、测量、接口软件、CAM、精密机械、CNC 数控、激光、新材料和精密伺服驱动等先进技术的精粹,采用了全新的叠加成形法,与传统的去除成形法有本质的区别。3D 打印技术是多种学科集成发展的产物。

3D 打印不需要刀具和模具,利用三维 CAD 模型在一台设备上可快速而精确地制造出结构复杂的零件,从而实现“自由制造”,解决传统制造工艺难以加工或无法加工的局限性,并大大缩短了加工周期,而且越是结构复杂的产品,其制造局限性的改善越明显。近 20 年来,3D 打印技术取得了快速发展。3D 打印制造原理结合不同的材料和实现工艺,形成了多种类型的 3D 打印制造技术及设备,目前全世界 3D 打印设备已多达几十种。3D 打印制造技术在消费电子产品、汽车、航空航天、医疗、军工、地理信息、建筑及艺术设计等领域已被大量应用。

1.1.2 3D 打印技术的发展史

3D 打印技术的发展起源可追溯至 20 世纪 70 年代末到 80 年代初期,美国 3M 公司的 Alan Hebert (1978 年)、日本的小玉秀男(1980 年)、美国 UVP 公司的 Charles Hull(1982 年)和日本的丸谷洋二(1983 年)四人各自独立提



出了3D打印的概念。1986年, Charles Hull率先提出了光固化成形(Stereo Lithography Apparatus, SLA), 这是3D打印技术发展的一个里程碑。同年, 他创立了世界上第一家3D打印设备的3D Systems公司。该公司于1988年生产出了世界上第一台3D打印机SLA-250。1988年, 美国人Scott Crump发明了另外一种3D打印技术——熔融沉积成形(Fused Deposition Modeling, FDM), 并成立了Stratasys公司。现在根据美国材料与试验协会(ASTM) 2009年成立的3D打印技术委员会(F42委员会)公布的定义, 该种成形工艺已重新命名为熔丝制造成形(Fused Filament Fabrication, FFF)。1989年, C. R. Dechard发明了选择性激光烧结成形(Selective Laser Sintering, SLS)。1993年麻省理工大学教授Emanuel Sachs发明了一种全新的3D打印技术(Three Dimensional Printing, 3DP)。这种技术类似于喷墨打印机, 通过向金属、陶瓷等粉末喷射黏结剂的方式将材料逐片成形, 然后进行烧结制成最终产品。这种技术的优点在于制作速度快, 价格低廉。随后, Z Corporation获得了麻省理工大学的许可, 利用该技术来生产3D打印机, “3D打印机”的称谓由此而来。此后, 以色列人Hanan Gothait于1998年创办了Objet Geometries公司, 并于2000年在北美推出了可用于办公室环境的商品化3D打印机。

近年来, 3D打印有了快速的发展。2005年, Z Corporation发布Spectrum Z510, 这是世界上第一台高精度彩色添加制造机。同年, 英国巴恩大学的Adrian Bowyer发起开源3D打印机项目RepRap, 该项目的目标是做出“自我复制机”, 通过添加制造机本身, 能够制造出另一台添加制造机。2008年, 第一版RepRap发布, 代号为“Darwin”, 它的体积仅一个箱子大小, 能够打印自身元件的50%。2008年, 美国旧金山一家公司通过添加制造技术首次为客户定制出了假肢的全部部件。2009年, 美国Organovo公司首次使用添加制造技术制造出人造血管。2011年, 英国南安普敦大学工程师打印出了世界首架无人驾驶飞机, 造价5000英镑。2011年, Kor Ecologic公司推出世界上第一辆从表面到零部件都由3D打印机打印制造的车“Urbee”, Urbee在城市时速可达100英里(注: 1英里 $\approx$ 1.609千米), 而在高速公路上则可飙升到200英里, 汽油和甲醇都可以作为它的燃料。2011年, I. Materialis公司提供以14K金和纯银为原材料的3D打印服务。随后还有新加坡的KINERGY公司、日本的KIRA公司、英国Renishaw等许多公司加入到了3D打印行业。

国内进行3D打印制造技术的研究比国外晚, 始于20世纪90年代初, 清华大学、华中科技大学、北京隆源自动成形有限公司及西安交通大学先后于1991—1993年间开始研发制造FDM、LOM、SLS及SLA等国产3D打印系统, 随后西北工业大学、北京航空航天大学、中北大学、北方恒立科技有限公



司、湖南华曙公司、上海联泰公司等单位迅速加入 3D 打印的研发行列之中, 这些单位和企业 在 3D 打印原理研究、成形设备开发、材料和工艺参数优化研究等方面做了大量卓有成效的工作, 有些单位开发的 3D 打印设备已接近或达到商品化机器的水平。

随着工艺、材料和装备的日益成熟, 3D 打印技术的应用范围不断扩大, 从制造设备向制造生活产品发展。新兴 3D 打印技术可以直接制造各种功能零件和生活物品, 可以制造电子产品绝缘外壳、金属结构件、高强度塑料零件、劳动工具、橡胶制件、汽车及航空高温用陶瓷部件及各类金属模具等, 还可以制造食品、服装、首饰等日用产品。其中, 高性能金属零件的直接制造是 3D 打印技术发展的重要标志之一, 2002 年德国成功研制了选择性激光熔化 3D 打印设备 (Selective Laser Melting, SLM), 可成形接近全致密的精密金属制件和模具, 其性能可达到同质锻件水平, 同时电子束熔化 (Electron Beam Melting, EBM)、激光近净成形等技术与装备涌现了出来。这些技术面向航空航天、武器装备、汽车/模具及生物医疗等高端制造领域, 可直接成形复杂和高性能的金属零部件, 解决一些传统制造工艺难以加工甚至无法加工的零部件制造难题。

美国《时代》周刊曾将 3D 打印制造列为“美国十大增长最快的工业”。如同蒸汽机、福特汽车流水线引发的工业革命, 3D 打印是“一项将要改变世界的技术”, 已引起全球的关注。英国《经济学人》杂志指出, 它将“与其他数字化生产模式一起, 推动并实现第三次工业革命”, 认为“该技术将改变未来生产与生活模式, 实现社会化制造”。每个人都可以用 3D 打印设备开办工厂, 这将改变制造商品的方式, 并改变世界经济的格局, 进而改变人类的生活方式。美国总统奥巴马在 2012 年提出了发展美国、振兴制造业计划, 启动的首个项目就是“3D 打印制造”。该项目由国防部牵头, 众多制造企业、大专院校以及非营利组织参加, 其任务是研发新的 3D 打印制造技术与产品, 使美国成为全球最优秀的 3D 打印制造中心, 使 3D 打印制造技术成为“基础研发与产品研发”之间的纽带。美国政府已经将 3D 打印制造技术作为国家制造业发展的首要战略任务予以支持。

3D 打印象征着个性化制造模式的出现, 在这种模式下, 人类将以新的方式合作来进行生产制造, 制造过程与管理模式将发生深刻变革, 现有制造业格局必将被打破。当前, 我国制造业已经将大批量、低成本制造的潜力发挥到极致, 未来制造业的竞争焦点将会由创新所主导, 3D 打印技术就是满足创新开发的有力工具, 3D 打印技术的应用普及程度将会在一定程度上表征一个国家的创新能力。



1.1.3 3D 打印技术的特点和优势

1. 制造更快速、更高效

3D 打印制造技术是制作精密复杂原型和零件的有效手段。利用 3D 打印制造技术由产品 CAD 数据或从实体反求获得的数据到制成 3D 原型,一般只需几小时到几十个小时,速度比传统成形加工方法快得多。3D 打印制造工艺流程短,全自动,可实现现场制造,因此,制造更快速、更高效。随着互联网的发展,3D 打印制造技术还可以用于提供远程制造服务,使资源得到充分利用,用户的需求得到最快的响应。

2. 技术高度集成

3D 打印制造技术是 CAD、数据采集与处理、材料工程、精密机电加工与 CNC 数字控制技术的综合体现。设计制作一体化(即 CAD/CAM 一体化)是 3D 打印技术的另一个显著特点。在传统的 CAD/CAM 技术中,由于成形技术的局限,致使设计制造一体化很难实现。而 3D 打印技术采用的是离散/堆积分层制作工艺,可以实现复杂的成形,因而能够很好地将 CAD/CAM 结合起来,实现设计与制造的一体化。

3. 堆积制造,自由成形

自由成形的含义有两方面:其一是指可根据 3D 原型或零件的形状,无需使用工具与模具而自由地成形;其二是指以“从下而上”的堆积方式实现非匀质材料、功能梯度材料的器件更有优势,不受形状复杂程度限制,能够制造任意复杂形状与结构、不同材料复合的 3D 原型或零件。

4. 制造过程高度柔性化

降维制造(分层制造)把三维结构的物体先分解成二维层状结构,逐层累加形成三维物品。因此,原理上 3D 打印技术将任何复杂的结构形状转换成简单的二维平面图形,而且制造过程更柔性化。3D 打印取消了专用工具,可在计算机管理和控制下制造出任意复杂形状的零件,制造过程中可重新编程、重新组合、连续改变生产装备,并通过信息集成到一个制造系统中。设计者不受零件结构工艺性的约束,可以随心所欲设计出任何复杂形状的零件。可以说,“只有想不到,没有做不到”。

5. 直接制造组合件和可选材料的广泛性

任何高性能难成形的拼合零部件均可通过 3D 打印方式一次性直接制造出



来,不需要工模具通过组装拼接等复杂过程来实现。3D 打印制造技术可采用的材料十分广泛,可采用树脂、塑料、纸、石蜡、复合材料、金属材料或者陶瓷材料的粉末、箔、丝、小块体等,也可是涂覆某种黏结剂的颗粒、板、薄膜等材料。

6. 广泛的应用领域

除了制造 3D 原型以外,3D 打印技术还特别适用于新产品的开发、快速单件及小批量零件的制造、不规则零件或复杂形状零件的制造、模具及模型设计与制造、外形设计检查、装配检验、快速反求与复制,以及难加工材料的制造等。这项技术不仅在制造业的产品造型与模具设计领域,而且在材料科学与工程、工业设计、医学科学、文化艺术、建筑工程、国防及航空航天等领域都有着广阔的应用前景。

综上所述 3D 打印技术具有的优势如下:

- (1) 从设计和工程的角度出发,可以设计更加复杂的零件。
- (2) 从制造角度出发,减少设计、加工、检查的工序,可大大缩短新品进入市场的时间。
- (3) 从市场和用户角度出发,减少风险,可实时地根据市场需求低成本地改变产品。

1.2 3D 打印技术的工作原理

3D 打印(Three Dimensional Printing, 3DP)技术是一种依据三维 CAD 设计数据,将所采用的离散材料(液体、粉末、丝材、片材、板或块料等)自下而上逐层叠加制造所需实体的技术。自 20 世纪 80 年代以来,3D 打印制造技术逐步发展,期间也被称为材料增材制造(Material Increase Manufacturing)、快速原型(Rapid Prototyping)、分层制造(Layered Manufacturing)、实体自由制造(Solid Freeform Fabrication)、3D 喷印(3D Printing)等。这些名称各异,但其成形原理均相同。

3D 打印技术不需要刀具和模具,利用三维 CAD 数据在一台设备上可快速而精确地制造出复杂的结构零件,从而实现“自由制造”,解决传统工艺难加工或无法加工的局限,并大大缩短了加工周期,而且越是复杂结构的产品,其制造速度的提升越显著。3D 打印技术集中了 CAD、CAM、CNC、激光、新材料和精密伺服驱动等先进技术的精粹,采用了全新的叠加堆积成形法,与传统的去除成形法有本质的区别。