

"十三五"机电工程实践系列规划教材

机电工程综合实训系列

快速成型制造 实训教程

总策划·郁汉琪

主 编·李小笠 陆欣云

副主编·徐有峰 谢乃军

参 编·史建俊



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

“十三五”机电工程实践系列规划教材
机电工程综合实训系列

快速成型制造实训教程

总策划 郁汉琪
主 编 李小笠 陆欣云
副主编 徐有峰 谢乃军
参 编 史建俊

 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

图书在版编目(CIP)数据

快速成型制造实训教程/李小笠,陆欣云主编. —南京:东南大学出版社,2016.11

“十三五”机电工程实践系列规划教材·机电工程综合实训系列

ISBN 978-7-5641-6822-3

I. ①快… II. ①李…②陆… III. 快速成型技术—高等学校—教材 IV. ①TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 261388 号

快速成型制造实训教程

出版发行	东南大学出版社
出版人	江建中
社址	南京市四牌楼2号
邮编	210096

经 销	全国各地新华书店
印 刷	南京工大印务有限公司
开 本	787 mm×1092 mm 1/16
印 张	8
字 数	205 千字
版 次	2016 年 11 月第 1 版
印 次	2016 年 11 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5641-6822-3
印 数	1—3000 册
定 价	20.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

《“十三五”机电工程实践系列规划教材》编委会

编委会主任：郑 锋

编委会委员：郁汉琪 缪国钧 李宏胜 张 杰

郝思鹏 王红艳 周明虎 徐行健(三菱)

何朝晖(博世力士乐) 肖玲(台达)

罗锋(通用电气) 吕颖珊(罗克韦尔)

朱珉(出版社) 殷埏生 陈 巍 刘树青

编审委员会主任：孙玉坤

编审委员会委员：胡仁杰 吴洪涛 任祖平 陈勇(西门子)

侯长合(法那科) 王华(三菱)

总 策 划：郁汉琪

序

南京工程学院一向重视实践教学,注重学生的工程实践能力和创新能力的培养。长期以来,学校坚持走产学研之路、创新人才培养模式,培养高质量应用型人才。开展了以先进工程教育理念为指导、以提高实践教学质量为抓手、以多元校企合作为平台、以系列项目化教学为载体的教育教学改革。学校先后与国内外一批著名企业合作共建了一批先进的实验室、实验中心或实训基地,规模宏大、合作深入,彻底改变了原来学校实验室设备落后于行业产业技术的现象。同时经过与企业实验室的共建、实验实训设备共同研制开发、工程实践项目的共同指导、学科竞赛的共同举办和教学资源的共同编著等,在产教融合协同育人等方面积累了丰富的丰富经验和改革成果,在人才培养改革实践过程中取得了重要成果。

本次编写的《“十三五”机电工程实践系列规划教材》是围绕机电工程训练体系四大部分内容而编排的,包括“机电工程基础实训系列”“机电工程控制基础实训系列”“机电工程综合实训系列”和“机电工程创新实训系列”等 26 册。其中“机电工程基础实训系列”包括《电工技术实验指导书》《电子技术实验指导书》《电工电子实训教程》《机械工程基础训练教程(上)》和《机械工程基础训练教程(下)》等 5 册;“机电工程控制基础实训系列”包括《电气控制与 PLC 实训教程(西门子)》《电气控制与 PLC 实训教程(三菱)》《电气控制与 PLC 实训教程(台达)》《电气控制与 PLC 实训教程(通用电气)》《电气控制与 PLC 实训教程(罗克韦尔)》《电气控制与 PLC 实训教程(施耐德电气)》《单片机实训教程》《检测技术实训教程》和《液压与气动控制技术实训教程》等 9 册;“机电工程综合实训系列”包括《数控系统 PLC 编程与实训教程(西门子)》《数控系统 PMC 编程与实训教程(法那科)》《数控系统 PLC 编程与实践训教程(三菱)》《先进制造技术实训教程》《快速成型制造实训教程》《工业机器人编程与实训教程》和《智能自动化生产线实训教程》等 7 册;“机电工程创新实训系列”包括《机械创新综合设计与训练教程》《电子系统综合设计与训练教程》《自动化系统集成综合设计与训练教程》《数控机床电气综合设计与训练教程》《数字化设计与制造综合设计与训练教程》

等 5 册。

该系列规划教材,既是学校深化实践教学改革的成效,也是学校教师与企业工程师共同开发的实践教学资源建设的经验总结,更是学校参加首批教育部“本科教学质量与教学改革工程”项目——“卓越工程师人才培养教育计划”“CDIO 工程教育模式改革研究与探索”和“国家级机电类人才培养模式创新实验区”工程实践教育改革的成果。该系列中的实验实训指导书和训练讲义经过了十年来的应用实践,在相关专业班级进行了应用实践与探索,成效显著。

该系列规划教材面向工程、重在实践、体现创新。在内容安排上既有基础实验实训、又有综合设计与集成应用项目训练,也有创新设计与综合工程实践项目应用;在项目的实施上采用国际化的 CDIO[Conceive(构思)、Design(设计)、Implement(实现)、Operate(运作)]工程教育的标准理念,“做中学、学中研、研中创”的方法,实现学做创一体化,使学生以主动的、实践的、课程之间有机联系的方式学习工程。通过基于这种系列化的项目教育和学习后,学生会在工程实践能力、团队合作能力、分析归纳能力、发现问题解决问题的能力、职业规划能力、信息获取能力以及创新创业能力等方面均得到锻炼和提高。

该系列规划教材的编写、出版得到了通用电气、三菱电机、西门子等多家企业的领导与工程师们的大力支持和帮助,出版社的领导、编辑也不辞辛劳、出谋划策,才能使该系列规划教材如期出版。该系列规划教材既可作为各高等院校电气工程类、自动化类、机械工程类专业,相关高校工程训练中心或实训基地的实验实训教材,也可作为专业技术人员培训用参考资料。相信该系列规划教材的出版,一定会对高等学校工程实践教育和高素质创新人才的培养起到重要的推动作用。

教育部高等学校电气类教学指导委员会主任

胡敏强

2016 年 5 月于南京

前 言

随着现代工业生产模式的转型,产品的生命周期越来越短,小批量个性化生产越来越受欢迎。产品的开发速度以及制造技术的灵活性备受关注。因此,在20世纪80年代后期出现的快速成形技术成为适应这种转型的高新制造技术之一。

全书共分为九章,首先对目前典型快速成型技术与应用进行了详细介绍,主要包括目前常用的快速成型技术、材料及设备、数据处理及关键技术、应用及发展趋势等内容。其次,介绍了分层实体制造(LOM)和熔融沉积制造(FDM)的快速成型机软件和设备操作。最后,设计了四种操作实验,以便快速掌握两种快速成型技术。书后附录提供了 Solido SD300Pro 快速成型打印机故障解决方案以及机器面板显示故障类型,便于读者在遇到问题时及时处理和解决。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化相关专业本科生实验用书,也可作为对学习快速成型技术有兴趣的读者的参考书。特别适用于有 LOM 或 FDM 快速成型设备的高等院校或高职院校作为操作培训教材。

本书由李小笠、陆欣云主编,并负责审查及统稿。第1、2、3、4、6章由李小笠编写,第5、9章由陆欣云编写,第7、8章由徐有峰编写,本书编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料和文献,在此表示感谢。对谢乃军、史建俊等老师为本书出版给予的支持一并致谢。

由于编著者水平有限,更由于快速成型技术日新月异的发展,书中的错误和缺点恳请读者批评指正。

编者
2016年10月

目 录

1	快速成型基本理论	(1)
1.1	快速成型技术简介	(1)
1.1.1	快速成型技术的概念	(1)
1.1.2	快速成型技术的工作原理	(2)
1.1.3	快速成型技术的特点	(2)
1.1.4	快速成型技术的应用	(4)
1.2	典型的快速成型制造工艺	(5)
1.2.1	光固化成型法(SLA)	(5)
1.2.2	分层实体制造(LOM)	(6)
1.2.3	选择性激光烧结成型(SLS)	(7)
1.2.4	熔融沉积造型	(9)
1.2.5	三维印刷(3DP)	(10)
1.2.6	其他快速成型工艺	(11)
1.2.7	几种典型快速成型制造工艺的比较	(11)
1.3	世界主要快速成型供应商	(12)
1.3.1	3D Systems	(12)
1.3.2	Helisys	(13)
1.3.3	DTM	(13)
1.3.4	EOS	(14)
1.3.5	Phenix Systems	(14)
1.3.6	Stratasys	(15)
1.3.7	Z Corporation	(15)
1.3.8	DSM Somos	(16)
1.3.9	北京隆源自动成型有限公司	(17)
1.3.10	北京殷华激光快速成型与模具技术有限公司	(17)
1.4	快速成型技术的应用	(17)
1.4.1	在航空航天技术领域的应用	(18)
1.4.2	在新产品造型设计过程中的应用	(18)
1.4.3	在机械制造领域的应用	(19)

1.4.4	在模具制造中的应用	(19)
2	快速成型数据处理	(21)
2.1	概述	(21)
2.2	快速成型的数据来源	(21)
2.2.1	三维 CAD 模型	(21)
2.2.2	反求工程数据	(22)
2.2.3	医学/体素数据	(22)
2.3	快速成型的数据接口	(22)
2.3.1	三维网格模型格式	(22)
2.3.2	CAD 三维数据格式	(23)
2.3.3	二维层片数据格式	(24)
3	实验所用快速成型设备简介	(25)
3.1	SD300 3D 打印机简介	(25)
3.1.1	SD300 3D 打印机系统结构	(25)
3.1.2	SD300 3D 打印机基本工作原理	(26)
3.1.3	SD300 3D 打印机主要性能参数	(26)
3.1.4	SD300 3D 打印机的应用实例	(27)
3.2	熔融沉积打印机简介	(27)
3.2.1	打印机系统结构	(28)
3.2.2	打印机基本工作原理	(30)
3.2.3	打印机主要性能参数	(31)
3.2.4	打印机的应用实例	(31)
4	SD300 3D 打印机基本操作	(32)
4.1	建模操作步骤	(32)
4.2	建模前的准备工作	(32)
4.3	SDview 软件基本操作	(33)
4.3.1	打开和关闭 SDview	(33)
4.3.2	创建工作进程	(34)
4.3.3	文件菜单	(35)
4.3.4	编辑菜单	(37)
4.3.5	移动模型	(39)
4.3.6	旋转模型	(40)
4.3.7	比例缩放模型	(41)
4.3.8	面对齐	(42)

4.3.9	剥层开口	(42)
4.3.10	剖切	(44)
4.3.11	视图菜单:工作区和模型查看	(45)
4.3.12	查看模型信息	(46)
4.3.13	工具菜单	(46)
4.4	模型制作	(48)
4.4.1	剖切以创建大模型	(48)
4.4.2	外环层、包覆体和剥层开口	(49)
4.4.3	如何定位模型,以节约材料	(55)
4.4.4	如何定位模型,以获取透明表面	(56)
4.4.5	建模限制	(56)
4.4.6	其他建模要领	(57)
4.5	模型的加工	(58)
4.5.1	模型发送至打印机	(58)
4.5.2	更换耗材	(61)
4.5.3	取消模型加工	(63)
4.6	模型的后处理	(63)
4.6.1	取出模型	(63)
4.6.2	去掉多余的材料	(64)
5	熔融沉积打印机基本操作	(66)
5.1	脱机打印步骤	(66)
5.1.1	打印机各菜单功能	(66)
5.1.2	脱机打印步骤	(69)
5.2	联机打印步骤	(70)
5.2.1	建模前的准备工作	(70)
5.2.2	数据准备	(71)
5.2.3	G代码生成器设置	(72)
5.2.4	成型准备工作	(78)
5.2.5	后处理	(79)
6	三维模型绘制实验	(80)
6.1	实验目的	(80)
6.2	实验设备	(80)
6.3	实验内容	(80)
6.4	实验步骤	(81)

6.4.1	绘制三维实体模型 1	(81)
6.4.2	绘制三维实体模型 2	(84)
6.4.3	绘制三维实体模型 3	(86)
6.4.4	绘制三维实体模型 4	(88)
6.4.5	绘制三维实体模型 5	(89)
6.5	实验要求	(91)
6.6	实验报告内容	(91)
7	SDview 软件操作实验	(92)
7.1	实验目的	(92)
7.2	实验设备	(92)
7.3	实验内容	(92)
7.4	实验步骤	(93)
7.4.1	熟悉 SDview 软件基本操作	(93)
7.4.2	剥层开口设置实例练习	(93)
7.4.3	模型剖切、剥层开口设置及定位操作	(95)
7.5	实验要求	(98)
7.6	实验报告内容	(98)
8	SD 300 快速成型机的操作实验	(99)
8.1	实验目的	(99)
8.2	实验设备	(99)
8.3	实验方法	(99)
8.4	实验内容	(99)
8.5	实验步骤	(100)
8.5.1	开机前的准备工作	(100)
8.5.2	开机操作	(100)
8.5.3	图形预处理	(100)
8.5.4	样件制作	(101)
8.5.5	关机	(102)
8.5.6	后处理	(102)
8.6	实验要求	(102)
8.7	实验报告	(103)
9	熔融沉积打印机操作练习	(104)
9.1	实验目的	(104)
9.2	实验设备	(104)

9.3 实验要求	(104)
9.4 实验原理	(104)
9.5 实验步骤	(105)
9.5.1 脱机打印练习	(105)
9.5.2 联机打印练习	(106)
9.6 实验注意事项	(106)
9.7 实验报告内容	(107)
附录 A Solido SD300Pro 快速成型打印机故障解决方案	(108)
附录 B Solido SD300Pro 机器面板显示故障	(109)
参考文献	(111)

1

快速成型基本理论

1.1 快速成型技术简介

快速成型(Rapid Prototyping, RP)技术是 20 世纪 80 年代问世的一门新兴制造技术,自问世以来,得到迅速发展。由于 RP 技术可以使数据模型转化为物理模型,并能有效地提高新产品的设计质量,缩短新产品开发周期,提高企业的市场竞争力,因而受到越来越多领域的关注,被一些学者誉为敏捷制造技术的使能技术之一。图 1.1 是快速成型机。



图 1.1 快速成型机

1.1.1 快速成型技术的概念

快速成型技术是采用逐点或逐层成型方法制造物理模型、模具和零件的一种先进制造技术。它是计算机辅助设计与制造技术、逆向工程技术、分层制造技术、材料去除成型技术、材料增加成型技术的集成,即快速成型技术就是利用三维 CAD 的数据,通过快速成型机,将一层层的材料堆积成实体原型。

快速成型的基本过程如图 1.2 所示。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

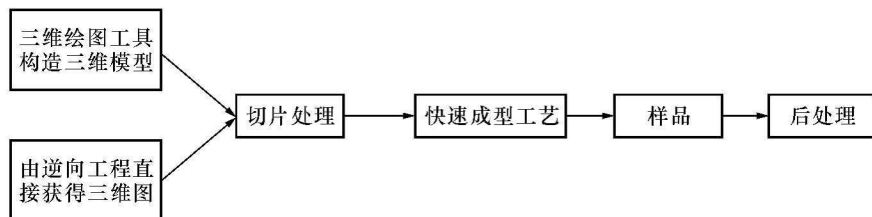


图 1.2 快速成型过程

1.1.2 快速成型技术的工作原理

快速成型的基本工作原理(见图 1.3):

(1) 首先生成一个产品的三维 CAD 实体模型或曲面模型文件,将其转换成 STL 格式。

(2) 再用相关软件从 STL 文件“切”出设定厚度的一系列的片层,或者直接从 CAD 文件切出一系列的片层。

(3) 将上述每一片层的资料传到快速成型机中,类似于向打印机传递打印信息,成型机根据每一片层数据进行加工,然后把片层按照顺序堆积叠加,直到完成整个零件。因此,快速成型的基本原理可概括为“离散原型”“分层制造”“逐层叠加”。

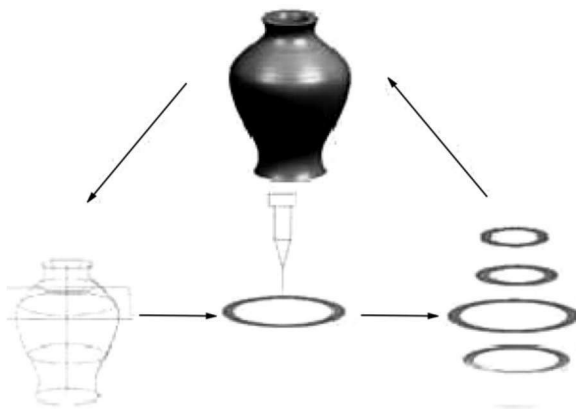


图 1.3 快速成型技术基本原理

1.1.3 快速成型技术的特点

快速成型技术彻底摆脱了传统的“去除材料”加工法,而基于“材料逐层堆积”的制造理念,将复杂的三维加工分解为简单的材料二维添加的组合,它能在 CAD 模型的直接驱动下,快速制造任意复杂形状的三维实体,是一种全新的制造技术。

它具有以下特点(见图 1.4):

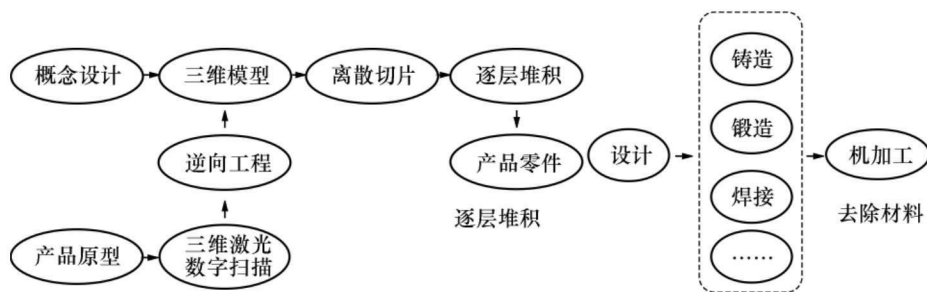


图 1.4 快速成型技术与传统加工技术的对比

1) 快速性

从设计思想转变为具有一定结构功能的产品原型,一般只需几个小时至几十个小时,可以对产品设计进行快速评估、测试及功能试验,以缩短研制周期,减少开发费用,提高企业参与市场竞争的能力。

2) 集成性

通过计算机直接执行 CAD 模型的数控指令,避免了数控中的复杂编程,真正实现了设计制造一体化,大大提高了加工效率。

3) 高度柔性

若要生产不同形状的零件模型,只需改变 CAD 模型,重新调整和设置参数即可,成型过程中不需要专门的夹具和工具,成型零件与 CAD 模型具有直接关联,零件可随时修改、随时制造。

4) 无限制性

快速成型不受零件的形状和复杂程度的限制,可成型任意形状的造型,这就摆脱了传统夹具、刀具加工的限制,使高难度、高复杂度的模型加工变得相对较容易。

5) 材料的广泛性

快速成型技术可以制造树脂类、塑料原型,还可以制造出纸类、石蜡类、复合材料以及金属材料和陶瓷的原型。

6) 低造价性

其制造周期一般为传统的数控切削方法的 $1/5 \sim 1/10$,而成本仅为 $1/3 \sim 1/5$,它在保证一定精度和零件制作精度的基础上,具有最优的性能价格比,这也是快速成型得到飞速发展的一个重要原因。

1.1.4 快速成型技术的应用

1) 新产品测评

利用快速成型技术可以快速制造出所需模型,节约了成本和时间。

能迅速得到用户对设计方案的反馈信息,可以随时对原始模型进行改进。

在产品大批生产之前就把可能出现的问题解决在设计阶段,减少了新产品开发的成本和时间,提高企业竞争力。

2) 可制造性、可装配性检验

制造出产品样品,便于对产品设计及时提出意见,减少失误和返工,节省工时。

对需要装配的零件,在投产之前,先用快速成型工艺制造出零部件,然后预装配,以验证设计是否合理,如有问题,以便及时整改,在产品正式生产之前得到彻底解决。

3) 性能与功能测试

快速成型技术制作的工件,也可以直接应用于各类力学性能和功能参数试验测试。如进行应力测试和流体力学及空气动力学分析等。

快速成型技术可以制造各种复杂的空间曲面,对流体力学及空气动力学分析等更具有实际意义。如果没有快速成型技术,这种测试需要花费很长的周期,有时几乎是不可能进行。

4) 单件、小批量和特殊复杂零件的直接生产

对于高分子材料的零部件,可用高强度的工程塑料直接快速成型,满足使用要求;对于复杂金属零件,可通过快速铸造或直接金属件成型获得。该项应用对于航空、航天及国防工业有特殊意义。

5) 快速模具制造

通过各种转换技术将 RP 原型转换成各种快速模具,如低熔点合金模、硅胶模、金属冷喷模、陶瓷模等,进行中小批量零件的生产,满足产品更新换代快、批量越来越小的发展趋势。

6) 生物学领域

它根据扫描得到的人体分层截面数据,制造出人体器官的模型,并用于临床医学辅助诊断复杂手术方案的确定。

特别是在人工骨替代物的制造方面更显示出它的独特优势,它既可以用于制造非生物活性骨(如金属骨),也可以用于制造生物活性骨。

组织工程是快速成型目前应用的一项新技术,利用快速成型制造的细胞支架可以修复、维护、促进人体各种组织或器官损伤到正常状态。

7) 微型机械

通过采用某些工艺加工方法,如光固化成型法,快速成型制造技术可以用于微型机械的

制造和装配。

8) 艺术领域

快速成型技术还可以用于复制文物,制作工艺品的设计原型、展览模型等。

1.2 典型的快速成型制造工艺

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。

1.2.1 光固化成型法(SLA)

光固化成型(Stereo Lithography Apparatus, SLA)也称为立体光刻成型。它是最早出现的快速成型技术,已经有 20 多年的历史。光固化成型的物理机制是光敏树脂在激光束有选择的照射下能够迅速局部固化。它的工作原理如下:液槽中盛满液态光敏树脂,一定波长的紫外激光光束按计算机的控制指令在液面上有选择地逐点扫描,使被扫描区的树脂薄层产生光聚合反应而固化,形成一个二维图形。一层扫描结束后,升降台下降一层高度,在原先固化的树脂表面会再敷上一层新的液态树脂,然后进行第二层扫描。新固化的一层牢固地粘在前一层上,如此重复直至整个成型过程结束。图 1.5 是光固化成型法工作原理。

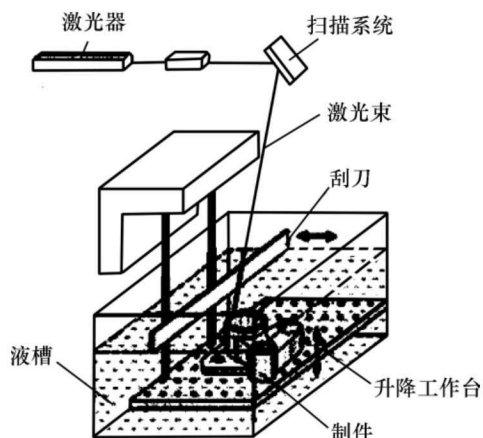


图 1.5 光固化成型法工作原理