

数控加工与编程

王忠利 李 锐 唐 振◎主 编

SHUKONG JIAGONG

YU BIANCHENG

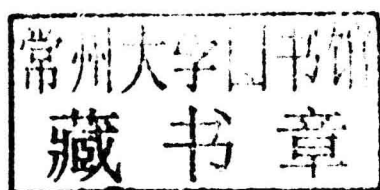
101001010001010010101010100001100101010101000010011100101010100101010
001010110101100101101010101010010101010100101010101010101010010001010
100101010010101010101010010010101010010101001001011001011010010101



中央广播电视大学出版社

数控加工与编程

王忠利 李 锐 唐 振 主编



中央广播电视大学出版社

北 京

内容简介

全书共分七章,全面系统地介绍了数控车床、铣床、加工中心及电火花的加工与编程,本书理论结合实践,内容简明扼要,浅显易懂,是一本针对性和实用性较强的书籍。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与编程 / 王忠利, 李锐, 唐振主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-304-05435-9

I. ①数… II. ①王… ②李… ③唐… III. ①数控机床—程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 275974 号

版权所有, 翻印必究。

数控加工与编程

王忠利 李锐 唐振 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心: 010-58840200 总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 苏醒

印刷: 北京密云胶印厂

版本: 2014 年 1 月第 1 版

开本: 787×1092 1/16

责任编辑: 吕剑

印数: 0001~3000

2014 年 1 月第 2 次印刷

印张: 14.75 字数: 355 千字

书号: ISBN 978-7-304-05435-9

定价: 40.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前 言

随着现代制造业的飞速发展和数控机床的日益普及,社会迫切需要一大批面向生产第一线的技能型数控加工与编程的高素质人才。根据这一需要,编者在多年教学实践的基础上编写了本书。

本书从培养高素质技能型专门人才的目的出发,强调理论联系实际,注重实用性,按培养、提高数控加工与编程人员、操作人员的职业技能进行阐述,采用章节加典型实例的模式编写,使读者对每一个章节中的每一个知识点能够深刻理解和熟练掌握。同时,书中又针对每一个章节内容列举典型实例进行讲解,并配有详细的程序说明,将必要的知识支撑点融于技能培养的工程中,使读者能够清晰掌握编程思路。

本书以市场上占有份额最大的 FANUC 数控系统为代表进行介绍。全书共分七章,全面系统地介绍了数控车床、铣床、加工中心及电火花的加工与编程,本书理论结合实践,内容简明扼要,浅显易懂,是一本针对性和实用性较强的书籍。书中所选实例具有较强的实用性和代表性。

本书由王忠利、李锐、唐振任主编,张烨、程玉任副主编。

本书内容是编者多年来实际工作经验的总结,在编写过程中也借鉴了国内外同行的相关资料和文献,在此谨表示感谢!由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者以及专家和同行批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

第1章 绪 论

1.1 数控机床的概念及其工艺特点	1
1.2 数控机床的组成和分类	4
思考与练习	14

第2章 数控编程基础

2.1 数控机床的坐标系	16
2.2 基本编程指令	20
2.3 辅助功能指令	27
2.4 编程中的数学处理	28
2.5 数控加工工艺基础	31
思考与练习	41

第3章 数控车床编程与操作

3.1 数控车床概述	43
3.2 数控车床的结构	45
3.3 数控车床编程指令	49
3.3 子程序调用	62
3.4 固定循环编程指令介绍	63
3.5 数控车床操作	75
思考与练习	82

第4章 数控铣床程序编制

4.1 数控铣床程序编制的基础	86
4.2 数控铣床程序编制的基本方法	103
4.3 图形的数学处理	121

4.4 数控铣削加工综合举例	127
思考与练习	135
第 5 章 加工中心的程序编制	
5.1 加工中心程序编制的基础	139
5.2 FANUC 系统固定循环功能	147
5.3 SIEMENS 系统固定循环功能	154
5.4 FANUC 系统极坐标指令应用	163
5.5 FANUC 系统 B 类宏程序应用	164
5.6 SIEMENS 系统宏程序应用	168
5.7 加工中心的调整	170
思考与练习	174
第 6 章 数控电火花线切割机床的编程与加工	
6.1 数控电火花线切割加工基本知识	178
6.2 数控电火花线切割加工工艺	181
6.3 数控电火花线切割机床的基本编程方法	190
思考与练习	204
第 7 章 电火花成型机床编程与加工	
7.1 电火花成形加工的基本原理	206
7.2 电火花成形加工机床的组成及附件	208
7.3 数控电火花成型加工工艺特点及应用	211
7.4 数控电火花成型过程参数与主要工艺指标	213
7.5 SF510F 编程	215
思考与练习	222
参考文献	226

第1章 绪 论

1.1 数控机床的概念及其工艺特点

一、数控机床的产生与发展

1. 数控机床的产生

社会需求是推动生产力发展最有力的因素。20 世纪 40 年代以来, 航空航天技术的飞速发展对各种飞行器的加工提出了更高的要求, 这些零件大多形状复杂, 材料多为难加工的合金。用传统的机床和工艺方法进行加工, 不能保证精度, 也很难提高生产效率。为了解决零件复杂形状表面的加工问题, 1952 年, 美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床。半个世纪以来, 数控技术得到了迅猛的发展, 加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了 2 个阶段和 6 个时代:

(1) 数控 (NC) 阶段

早期的计算机运算速度低, 不能适应机床实时控制的要求, 人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统, 这就是硬件连接数控, 简称数控 (NC)。随着电子元器件的发展, 这个阶段经历了三代, 即 1952 年的第一代——电子管数控机床, 1959 年的第二代——晶体管数控机床, 1965 年的第三代——集成电路数控机床。

(2) 计算机数控 (CNC) 阶段

1970 年, 通用小型计算机已出现并投入成批生产, 人们将它移植过来作为数控系统的核心部件, 从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了三代, 即 1970 年的第四代——小型计算机数控机床, 1974 年的第五代——微型计算机数控系统, 1990 年的第六代——基于 PC 的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展, 数控技术也随之不断更新, 发展非常迅速, 几乎每 5 年更新换代一次, 其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

2. 数控机床的发展趋势

数控机床的出现不但给传统制造业带来了革命性的变化, 使制造业成为工业化的象征, 而且随着数控技术的发展和应用领域的扩大, 它对国计民生的一些重要行业 (IT、汽车、轻工、医疗等) 的发展起着越来越重要的作用, 因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前世界上数控机床的发展呈现如下趋势:

(1) 高速度高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要技术指标, 它直接关系到加工效率和产品质量。对于数控机床, 高速度化首先是要求计算机数控系统在读入加工指令数据后, 能高速度处理

并计算出伺服电机的位移量,并要求伺服电机高速度地做出反应。此外,要实现生产系统的高速度化,还必须谋求主轴转速、进给率、刀具交换、托盘交换等各种关键部件也要实现高速度化。

(2) 多功能化

一机多能的数控机床,可以最大限度地提高设备的利用率。如数控加工中心(Machining Center, MC)配有机械手和刀具库,工件一经装夹,数控系统就能控制机床自动地更换刀具,连续对工件的各个加工面自动地完成铣削、镗削、铰孔、扩孔及攻螺纹等多工序加工,从而避免多次装夹所造成的定位误差。这样减少了设备台数、工夹具和操作人员,节省了占地面积和辅助时间。为了提高效率,新型数控机床在控制系统和机床结构上也有所改革。例如,采取多系统混合控制方式,用不同的切削方式(车、钻、铣、攻螺纹等)同时加工零件的不同部位等。现代数控系统控制轴数多达15轴,同时联动的轴数已达到6轴。

(3) 智能化

数控机床应用高技术的重要目标是智能化。智能化技术主要体现在以下几个方面:

①引进自适应控制技术。自适应控制技术(Adaptive Control, AC)的目的是要求在随机的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。通常数控机床是按照预先编好的程序进行控制,但随机因素,如毛坯余量和硬度的不均匀、刀具的磨损等难以预测。为了确保质量,势必在编程时采用较保守的切削用量,从而降低了加工效率。AC系统可对机床主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量,并由CPU进行比较运算后发出修改主轴转速和进给量大小的信号,确保AC处于最佳的切削用量状态,从而在保证质量的条件下使加工成本最低或生产率最高。AC系统主要在航天等工业部门用于特种材料的加工。

②附加人机会话自动编程功能。建立切削用量专家系统和示教系统,从而达到提高编程效率和降低对编程人员技术水平的要求。

③具有设备故障自诊断功能。数控系统出了故障,控制系统能够进行自诊断,并自动采取排除故障的措施,以适应长时间无人操作环境的要求。

(4) 小型化

蓬勃发展的机电一体化设备,对数控系统提出了小型化的要求,体积小化便于将机、电装置揉合为一体。日本新开发的FS16和FS18都采用了三维安装方法,使电子元器件得以高密度地安装,大大地缩小了系统的占有空间。此外,它们还采用了新型TFT彩色液晶薄型显示器,使数控系统进一步小型化,这样可更方便地将它们装到机械设备上。

(5) 高可靠性

数控系统比较贵重,用户期望发挥投资效益,因此要求设备具有高可靠性。特别是对在长时间无人操作环境下运行的数控系统,可靠性成为人们最为关注的问题。提高可靠性,通常可采取如下一些措施:

①提高线路集成度。采用大规模或超大规模的集成电路、专用芯片及混合式集成电路,以减少元器件的数量,精简外部连线和减低功耗。

②建立由设计、试制到生产的一整套质量保证体系。例如,采取防电源干扰,输入/输

出光电隔离；使数控系统模块化、通用化及标准化，以便于组织批量生产及维修；在安装制造时注意严格筛选元器件；对系统可靠性进行全面的检查考核等。通过这些手段，保证产品质量。

③增强故障自诊断功能和保护功能。由于元器件失效、编程及人为操作错误等原因，数控机床完全可能出现故障。数控机床一般具有故障自诊断功能，能够对硬件和软件进行故障诊断，自动显示出故障的部位及类型，以便快速排除故障。新型数控机床还具有故障预报、自恢复功能、监控与保护功能。例如，有的系统设有刀具破损检测、行程范围保护和断电保护等功能，以避免损坏机床及报废工件。由于采取了各种有效的可靠性措施，现代数控机床的平均无故障时间（MTBF）可达到 10000~36000h。

二、数控技术的基本概念

1. 数控

数字控制（Numerical Control，简称 NC）是一种自动控制技术，是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法，也就是指用输入数控装置的数字信息来控制机械执行预定的动作。数字信息包括字母、数字和符号。

2. 计算机数控

计算机数控（Computer Numerical Control，简称 CNC）是采用具有存储程序的计算机，按照存储在计算机内读写存储器中的控制程序去执行数控装置的一部分或全部数控功能。

3. 数控系统

数控系统是一种程序控制系统，它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序，并将其译码，从而使机床运动并加工零件。

4. 数控机床

数控机床（NC Machine）就是装备了数控系统的机床，即用数字信息进行控制的机床。

工作原理：根据零件图制定工艺方案，采用手工或计算机进行零件程序的编制，将加工程序输入到数控系统后，数控系统对数据进行运算和处理，向主轴箱内的驱动电机和控制各进给轴的伺服装置发出指令。伺服装置接受指令后向控制 3 个方向的进给伺服（步进）电机发出电脉冲信号。主轴驱动电机带动刀具旋转，进给伺服电机带动滚珠丝杠使机床的工作台沿 X 轴和 Y 轴，主轴箱沿 Z 轴移动，刀具对工件进行切削，从而加工出符合图纸要求的零件。

5. 数控加工

在数控机床上进行加工的一种工艺方法，即用数字控制技术实现的自动控制系统控制生产过程，实现加工过程的自动化操作的加工方法。数控机床加工零件的过程如图 1-1 所示。



图 1-1 数控加工过程

（1）根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据。

(2) 用规定的代码和程序格式编写零件加工程序单,或用自动编程软件直接生成零件的加工程序代码文件。

(3) 根据程序单上的代码制作控制介质(纸带、磁带等),将程序输入数控装置或直接手工输入。

(4) 数控装置在事先存入的控制程序支持下,将代码进行处理和计算后,向机床的伺服系统发出相应的脉冲信号,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,进行零件的加工。

三、数控加工的特点及应用

1. 数控加工的特点

(1) 具有高的柔性,适应性强。它为单件、小批量加工及试制新产品提供了极大的便利。

(2) 加工精度高,质量稳定。数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量稳定。

(3) 加工生产效率高。数控机床通常不需要专用的工装夹具,因而可省去工装夹具的设计和制造时间,与普通机床相比,生产率可提高2~3倍。

(4) 降低了操作工人的劳动强度。操作者不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度大大减轻。

(5) 能加工复杂型面。数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。

(6) 有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件,能精确地估算零件的加工工时,有助于精确编制生产进度表,有利于生产管理的现代化。

(7) 工艺复合化,功能集成化。

(8) 设备较昂贵,提高了起始阶段的投资,加工成本一般较高。

(9) 加工中难以调整。

(10) 增加了电子设备的维护,且维修难度较大。

(11) 对操作人员的技术水平要求较高。

2. 数控加工较适合加工的零件

(1) 多品种、小批量零件。

(2) 几何形状复杂的零件。

(3) 需要频繁改型的零件。

(4) 贵重的、不允许报废的关键零件。

(5) 必须严格控制公差的零件。

1.2 数控机床的组成和分类

一、数控机床的组成

数控机床一般由数控系统、包含伺服电动机和检测反馈装置的伺服系统、强电控制柜、

机床本体和各类辅助装置组成,如图1-2所示。

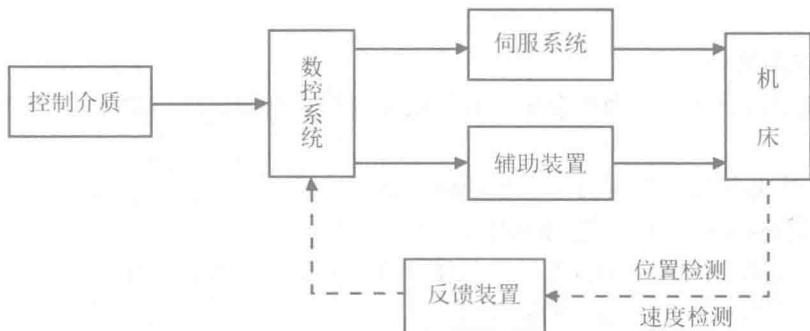


图 1-2 数控机床的组成

1. 控制介质

要对数控机床进行控制,就必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的媒介物即称为控制介质。在控制介质上保存着加工零件所必需的数控代码。控制介质可以是穿孔纸带、磁带和磁盘,从更广的意义上来理解,计算机直接控制(DNC)也可属于控制介质之列。

2. 数控装置

数控装置主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由CPU、存储器、控制器等组成。其中控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较,从而控制机床各坐标轴的位移。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令,再经过驱动系统的功率放大后,驱动电动机运转,通过机械传动装置带动工作台或刀架运动。脉冲当量是衡量数控机床的重要参数。数控装置每输出一个脉冲信号使机床工作台移动的位移量叫做脉冲当量。一般的数控机床脉冲当量可达到0.001mm/脉冲,精密机床要求达到0.0001mm/脉冲。

4. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置ATC(Automatic Tool Changer)、自动交换工作台机构APC(Automatic Pallet Changer)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

5. 机床本体

数控机床的本体指其机械结构实体。它与传统的普通机床相比较,同样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成,但由于数控机床具有加工精度高、加工效率高等特点,因此对机床床身的刚度和抗震性也提出了更高的要求,其设计要求比普通机床更严格,制造要求更精密。

二、数控机床的分类

1. 按工艺用途分类

(1) 普通数控机床。如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控冲床、数控剪板机、数控折弯机等。

(2) 加工中心机床—具备刀库和自动换刀装置。

(3) 多坐标轴数控机床。控制的轴数 >3 个。

① 2轴联动数控机床：数控车床、铣削平面曲线轮廓的数控铣床等。

② 3轴联动数控机床：常用的数控铣床、加工中心等。

③ 4轴联动数控机床：用于加工空间曲面的数控铣床、加工中心等，相对于3轴联动机床，可提高加工效率和加工质量。

④ 5轴联动数控机床：用于高效、高精加工空间曲面的数控铣床、加工中心等，是功能最全、控制最复杂的一类数控机床。

(4) 数控特种加工机床。如数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机床等。

2. 按运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床

特点：仅控制刀具从一点到另一点的准确定位，而不控制移动轨迹和速度；快速移动中不加工。

应用：数控钻床、冲床、坐标镗床等。

(2) 直线控制数控机床

特点：控制相对位置、控制移动速度、控制移动轨迹为直线（与坐标轴平行或成 45° ）、边移动边加工。

应用：简易数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床

特点：数控机床能够同时对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制，使其合成的平面或空间的运动轨迹符合被加工工件形状的要求。控制相对位置、移动速度和移动轨迹；移动轨迹为平面或空间曲线；边移动边加工。

应用：数控车床、数控铣床、数控磨床、数控电加工机床等。

3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环控制系统的数控机床

开环数控系统数控机床结构简单，没有测量反馈装置。同时，数控装置发出的指令信号流是单向的，调试方便，工作比较稳定，维修简便，成本也较低，但因为无位置反馈，所以精度不高，如图1-3所示。



图 1-3 开环控制系统示意图

(2) 闭环控制系统的数控机床

这类系统的位置检测装置安装在机床工作台上，将工作台的实际位置检测出来，并与 CNC 装置的指令位置进行比较，用差值进行控制。闭环控制系统的特点是加工精度高，但调试和维修比较复杂，稳定性难以控制，成本也较高，如图1-4所示。

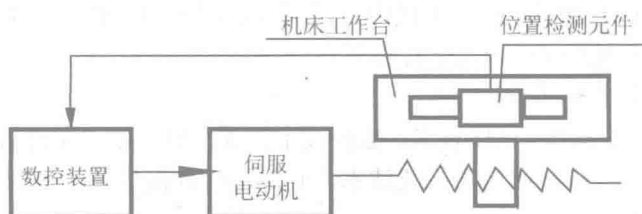


图 1-4 闭环控制系统示意图

(3) 半闭环控制系统的数控机床

这类系统的位置检测装置安装在电动机或丝杠轴端，通过角位移的测量间接得出机床工作台的实际位置，其工作原理如图 1-5 所示。半闭环控制系统的特点是精度及稳定性较高，价格适中，调试维修也较容易，目前应用比较普遍。

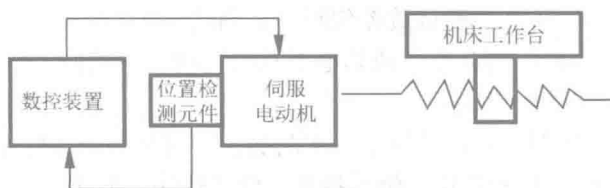


图 1-5 半闭环控制系统示意图

4. 按机床结构分类

(1) 立式数控铣床

立式数控铣床主轴轴线垂直于机床加工工作台平面。主要用于机械零件类的平面、内外轮廓、孔、攻螺纹以及各类模具的加工。

(2) 卧式数控铣床

卧式数控铣床主轴轴线与机床加工工作台平面平行。主要适用于箱体类机械零件的加工。

(3) 复合式数控铣床

复合式数控铣床是指一台机床上有立式和卧式两个主轴，或者主轴可作 90° 旋转的数

控铣床。主要用于箱体类零件以及各类模具的加工。

(4) 龙门式数控铣床

龙门式数控铣床主轴固定于龙门架上。主要用于大型机械零件及大型模具的加工。

三、先进制造技术

21 世纪, 人类已迈入了经济快速发展的时代, 传统的制造技术以及制造模式正发生质的飞跃, 先进制造技术在制造业中正逐步被应用, 并推动制造业的发展。

近年来, 正逐步被推广应用的先进制造技术有快速原型法、虚拟制造技术、柔性制造单元和柔性制造系统等。

1. 快速原型法 (又称快速成型法)

快速原型法是国外 20 世纪 80 年代中、后期发展起来的一种新技术, 它与虚拟制造技术一起, 被称为未来制造业的两大支柱技术。

(1) 快速原型法基本原理

快速原型法是综合运用 CAD 技术、数控技术、激光加工技术和材料技术, 实现从零件设计到三维实体原型制造一体化的系统技术。它采用软件离散化——材料堆积的原理实现零件的成形, 如图 1-6 所示。

其具体过程如下:

- ① 采用 CAD 软件设计出零件的三维曲面或实体模型。
- ② 根据工艺要求, 按照一定的厚度在某坐标方向, 如 Z 向, 对生成的 CAD 模型进行切面分层, 生成各个截面的二维平面信息。
- ③ 对层面信息进行工艺处理, 选择加工参数, 系统自动生成刀具移动轨迹和数控加工代码。
- ④ 对加工过程进行仿真, 确认数控代码的正确性。
- ⑤ 利用数控装置精确控制激光束或其他工具的运动, 在当前工作层 (二维) 上采用轮廓扫描, 加工出适当的截面形状。
- ⑥ 铺上一层新的成型材料, 进行下一次的加工, 直至整个零件加工完毕。

可以看出, 快速成形过程是由三维转换成二维 (软件离散化), 再由二维到三维 (材料堆积) 的工作过程。

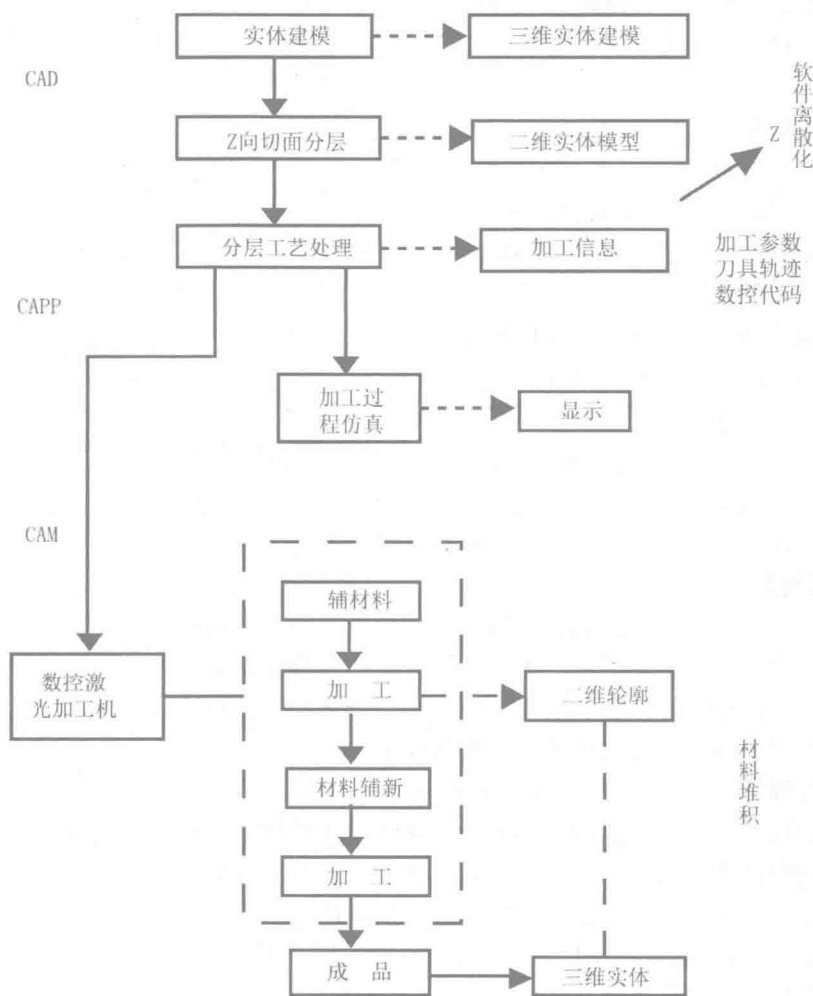


图 1-6 快速原型制造原理

快速原型法不仅可用于原始设计中，快速生成零件实物，也可用来快速复制实物（包括放大、缩小、修改）。

（2）快速原型技术的主要工艺方法

① 光固化立体成型制造法（LSL 法）。LSL 法是以各类树脂为成形材料，以氦-镉激光器为能源，以树脂受热固化为特征快速成型方法。

② 实体分层制造法（LOM 法）。LOM 法是以片材（如纸片、塑料薄膜或复合材料）为材料，利用 CO₂ 激光器为能源，用激光束切割片材的边界，形成某一层的轮廓，各层间的粘接利用加热、加压的方法，最后形成零件的形状。该方法取材广泛，成本低。

③ 选择性激光烧结制造法（SLS 法）。SLS 法是采用各种粉末（金属、陶瓷、蜡粉、塑料等）为材料，利用滚子铺粉，用 CO₂ 高功率激光器对粉末进行加热直到烧结成块，利用该方法可以加工出能直接使用的金属件。

④ 熔融沉积制造法 (FDM 法)。FDM 法是采用蜡丝为原料, 利用电加热方式将蜡丝熔化成蜡液, 蜡液由喷嘴喷到指定的位置固定, 一层层地加工出零件。该方法污染小, 材料可以回收。

(3) 快速原型法的特点

- ① 适合于形状复杂的、不规则零件的加工。
- ② 减少了对熟练技术工人的需求。
- ③ 没有或极少下脚料, 是一种环保型的制造技术。
- ④ 成功地解决了 CAD 中三维造型“看得见, 摸不着”的问题。
- ⑤ 系统柔性高, 只需修改 CAD 模型就可生成不同形状的零件。
- ⑥ 技术集成, 设计制造一体化。
- ⑦ 具有广泛的材料适应性。
- ⑧ 不需要专门的工装夹具和模具, 大大缩小新产品试制时间。

因此, 快速原型法主要适用于新产品开发, 快速单件及小批量零件制造, 形状复杂零件的制造, 模具设计与制造, 难加工材料零件的加工制造。

2. 虚拟制造技术

虚拟制造是以计算机支持的仿真技术和虚拟现实技术为前提, 对企业的全部生产、经营活动进行建模, 并在计算机上“虚拟”地运行产品设计、加工制造、计划制定、生产调度、经营管理、成本财务管理、质量管理甚至市场营销等在内的企业全部功能, 在求得系统的最佳运行参数后, 再据此实现企业的物理运行。

虚拟制造包括设计过程仿真、加工过程仿真。实质上虚拟制造是一般仿真技术的扩展, 是仿真技术的最高阶段。虚拟制造的关键是系统的建模技术, 它将现实物理系统映射为计算机环境下的虚拟物理系统, 现实信息系统映射为计算机环境下的虚拟信息系统。计算机环境下的虚拟物理系统与虚拟信息系统组成虚拟制造系统。虚拟制造系统不消耗能源和其他资源 (计算机耗电除外), 所进行的过程是虚拟过程, 所生产的产品是可视的虚拟产品或数字产品。虚拟制造系统的体系结构如图 1-7 所示。

由图 1-5 可知, 通过系统建模工具, 首先将现实物理系统和现实信息系统映射为计算机环境下的虚拟物理系统和虚拟信息系统, 然后利用仿真机和虚拟现实系统对设计过程及结果进行仿真、工艺过程仿真和企业运行状态仿真, 最后产品是满足用户要求的高质量数字产品和企业运行的最佳参数, 据此最佳参数调整企业的运行过程, 使其始终处于最佳运行状态, 最后生产出高质量的物理产品投放市场。

3. 柔性制造系统 (FMS)

FMS 一般由加工系统、物流系统、信息流控制系统和辅助系统组成, 如图 1-8 所示。

(1) 加工系统

加工系统主要由数控机床、加工中心等设备组成。加工系统的功能是以任意顺序自动加工各种工件, 并能自动更换工件和刀具。

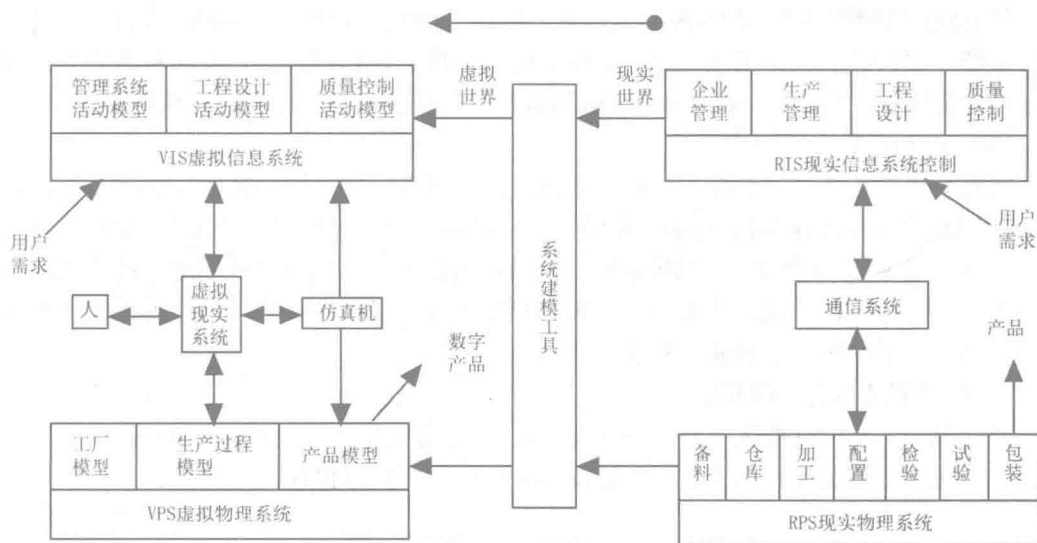


图 1-7 虚拟制造系统的体系结构

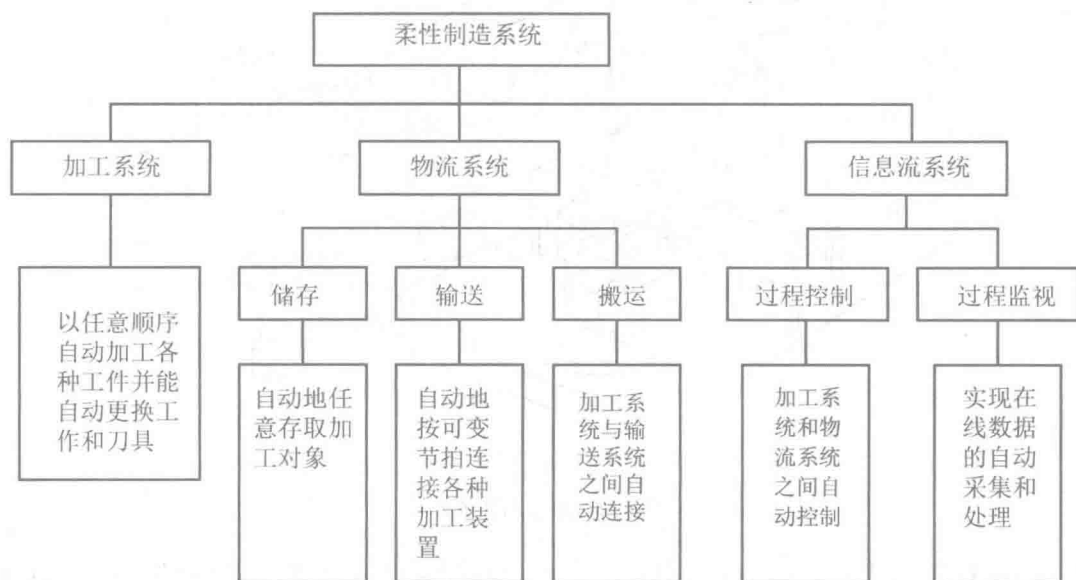


图 1-8 柔性制造系统的构成

(2) 物流系统

物流是 FMS 中物料流动的总称。在 FMS 中流动的材料主要有工件、刀具、夹具、切屑及切削液。物流系统是从 FMS 的进口到出口，实现对这些材料的自动识别、存储、分配、输送、交换和管理功能的系统。它包括自动运输小车、立体仓库、中央刀库等，主要完成刀具、工件的存储和运输。

(3) 信息流控制系统