

面向 21 世纪教材 · 广东省金工研究会推荐使用

机械制工程训练教材

张木青 于兆勤 主编
刘友和 主审



华南理工大学出版社

内 容 简 介

本书为机械制造工程训练(金工实习)的实习教材,内容包括金属材料和钢的热处理、铸造、锻压和板料冲压、焊接、切削加工、车工、铣工与齿形加工、刨工、磨工、钳工与装配、汽车结构、塑料成型、数控加工基础、数控线切割、数控车削、数控铣削、电火花加工、表面处理技术等,每章均附有思考与练习题,在有些章节中还穿插了创新设计的内容。

本书适合于高等院校机械类、近机械类本、专科学生使用。对于非机械类专业,可根据专业特点和教学条件,有针对性地选择其中的实习内容组织教学。本书还可作为有关工程技术人员和技工的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程训练教材/张木青,于兆勤主编. —广州:华南理工大学出版社,2004.6

ISBN 7-5623-2046-2

I. 机… II. ①张… ②于… III. 金属加工-工艺-高等学校-教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 046207 号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)
发行部电话:020-87113487 87110964 22236185 87111048(传真)
E-mail: scut202@scut.edu.cn http://www.scutpress.com

责任编辑:毛润政

印刷者:广东省阳江市教育印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:425 千

版次:2004 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~18 000 册

定 价:25.00 元

版权所有 盗版必究

目 录

第1章 金属材料和钢的热处理	(1)
1.1 铁碳合金简介及显微组织观察	(1)
1.2 金属材料的现场鉴别	(5)
1.3 钢的热处理	(8)
思考与练习	(12)
第2章 铸造成型	(13)
2.1 概述	(13)
2.2 砂型铸造工艺	(13)
2.3 合金的熔炼与浇注	(21)
2.4 铸件常见缺陷的分析	(25)
2.5 压力铸造和实型铸造简介	(26)
思考与练习	(29)
第3章 锻造和板料冲压	(30)
3.1 锻造	(30)
3.2 板料冲压	(38)
思考与练习	(43)
第4章 焊接	(45)
4.1 焊条电弧焊	(45)
4.2 埋弧自动焊	(51)
4.3 气焊与气割	(52)
4.4 手工钨极氩弧焊	(57)
4.5 电阻焊	(57)
思考与练习	(60)
第5章 切削加工基础和零件加工质量检验技术	(61)
5.1 切削加工基础	(61)
5.2 常用量具及其使用方法	(68)
5.3 零件加工质量及检验方法	(74)
思考与练习	(78)
第6章 车工	(79)
6.1 卧式车床	(80)
6.2 车刀的结构、刃磨及其安装	(83)
6.3 车外圆、端面 and 台阶	(85)
6.4 切槽、切断、车成型面和滚花	(90)
6.5 车圆锥面	(93)
6.6 孔加工	(94)

6.7 车螺纹.....	(95)
6.8 车床附件及其使用方法.....	(98)
6.9 轴类零件车削工艺	(101)
思考与练习.....	(103)
第7章 铣工与齿形加工	(105)
7.1 铣床	(106)
7.2 铣刀及其安装	(107)
7.3 分度头结构及分度方法	(109)
7.4 工件的安装	(110)
7.5 铣削典型表面	(111)
7.6 齿形加工	(118)
思考与练习.....	(121)
第8章 刨工	(122)
8.1 牛头刨床	(122)
8.2 刨刀和工件的安装	(125)
8.3 典型表面的刨削	(126)
8.4 刨削类机床简介	(128)
思考与练习.....	(130)
第9章 磨工	(131)
9.1 砂轮	(131)
9.2 外圆磨床及其磨削工作	(136)
9.3 平面磨床及其磨削工作	(138)
思考与练习.....	(141)
第10章 钳工与装配	(143)
10.1 划线.....	(143)
10.2 锯削与錾削.....	(147)
10.3 锉削.....	(150)
10.4 孔及螺纹加工.....	(152)
10.5 装配.....	(159)
思考与练习.....	(163)
第11章 汽车结构基本知识	(165)
11.1 汽车结构的认识.....	(165)
11.2 汽车的使用与保养.....	(174)
思考与练习.....	(176)
第12章 塑料成型技术	(178)
12.1 常用塑料知识简介.....	(178)
12.2 注塑成型工艺.....	(179)
12.3 塑料模具的组成.....	(181)
12.4 挤出成型工艺.....	(183)

12.5 真空吸塑成型和吹塑成型工艺简介	(185)
思考与练习	(187)
第 13 章 数控加工基础知识	(188)
13.1 数控加工的基本原理	(188)
13.2 数控编程	(195)
思考与练习	(196)
第 14 章 电火花加工	(197)
14.1 概述	(197)
14.2 电火花成形加工机床的结构	(198)
14.3 电火花机床的操作	(199)
思考与练习	(201)
第 15 章 数控线切割加工	(202)
15.1 数控线切割加工的基本原理、特点	(202)
15.2 数控线切割加工设备	(203)
15.3 数控线切割机床编程方法	(205)
15.4 电火花数控线切割机床的操作	(208)
思考与练习	(211)
第 16 章 数控车削加工	(212)
16.1 数控车床的结构和工作过程	(212)
16.2 加工程序的编制 (以 GSK980T 为例)	(215)
16.3 数控车床的操作	(221)
16.4 加工程序实例	(226)
思考与练习	(229)
第 17 章 数控铣削加工	(230)
17.1 数控铣床概述	(230)
17.2 数控铣床基本编程方法	(231)
17.3 数控铣床的操作	(235)
思考与练习	(246)
第 18 章 表面处理技术与化学加工	(247)
18.1 概述	(247)
18.2 化学镀	(247)
18.3 铝及铝合金的阳极氧化处理	(251)
18.4 真空蒸发镀膜	(255)
18.5 化学腐蚀加工	(257)
思考与练习	(257)
参考文献	(259)

第 13 章 数控加工基础知识

随着社会的进步和科学技术的迅速发展,机械产品的结构越来越复杂,对机械产品的质量和生产率的要求越来越高。近年来,由于市场竞争日趋激烈,为了适应国内外市场需求迅速变化的要求,机械制造业为了提供高质量的产品,必须频繁地改型,并缩短生产周期,满足市场上不断变化的需要。机械制造业正经历着从大批量到小批量及单件生产的转变过程,而传统的制造手段已满足不了当前技术的发展和市场经济的要求,数控技术的迅速发展,有效的解决了上述问题,它使传统的制造方式发生了根本的转变。现在数控技术已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术,现代的 CAD/CAM, FMS 和 CIMS、敏捷制造和智能制造等,都是建立在数控技术之上。

计算机数控系统有许多优点:

1. 柔性好

以往数控系统的许多功能是靠硬件电路来实现的。若想改变系统的功能,必须重新布线,但计算机数控系统能利用控制软件灵活地增加或改变数控系统的功能,更能适应生产发展的需要。

2、功能强

可利用计算机技术及其外围设备,增强数控系统及数控机床的功能。例如,利用计算机图形显示功能,检查编程的刀具轨迹,纠正编程错误,还可检查刀具与机床、夹具碰撞的可能性等;利用计算机网络通信的功能,便于数控机床组成生产线。

3、可靠性高

计算机数控系统可使用磁带、软盘等许多输入装置,避免了以往数控机床由于频繁地开启光电阅读机而造成的信息出错的缺点。与硬件数控相比,计算机数控尽量减少硬件电路,著地减少焊点、接插件和外部联线,提高了可靠性。此外,计算机数控系统一般都具备自诊断功能,可及时指出故障原因,便于维修或预防操作失误,减少停机时间。这一切使得现代数控系统的无故障运行时间大为增加。

4、易于实现机电一体化

由于计算机电路板上采用大规模集成电路和先进的印制电路排版技术,只要采用数块印制电路板即可构成整个控制系统,而将数控装置连同操作面板装入一个不大的数控箱内,有力地促进了机电一体化。

5、经济性好

采用微机数控系统后,系统的性能价格比大为提高,现在不但大型企业,就是中小型企业也逐渐采用微机数控系统了。

13.1 数控加工的基本原理

13.1.1 数控加工的基本概念

数控即为数字控制(Numerical Control),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,简称数控(NC)。

数控机床:就是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

数控系统:数控机床中的程序控制系统,它能够自动阅读输入载体上事先给定的程序,

并将其译码，从而使机床运动和加工工件。

13.1.2 数控机床的工作原理

现代计算机数控机床由控制介质、输入输出设备、计算机数控装置、伺服系统及机床本体组成。

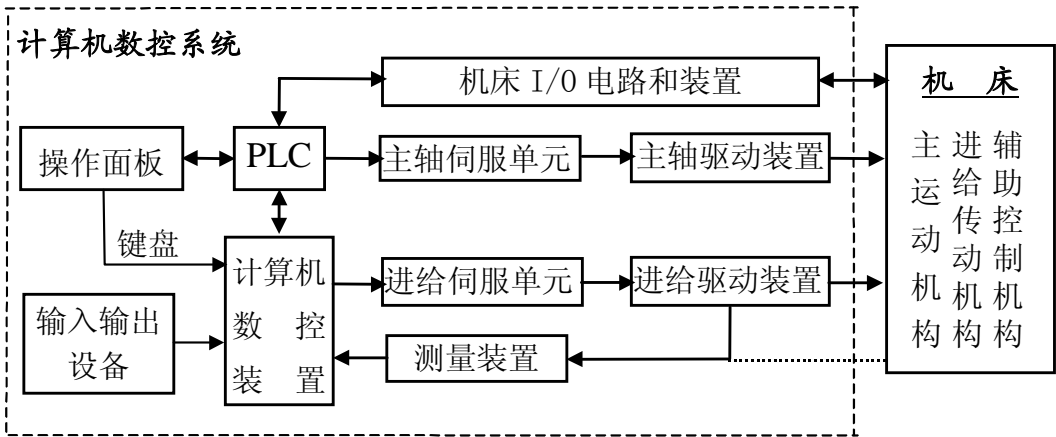


图 13-1 数控机床工作原理图

1、控制介质

它是用于记载各种加工信息，以控制机床的运动，实现零件的机械加工。控制介质是记录零件加工程序的媒介，在数控机床上加工程序时，首先根据图纸要求确定加工工艺，然后编制出加工程序，加工程序必须存储在某种存储介质上。目前常用的有穿孔带、磁带或磁盘等。

2、输入、输出装置

是 CNC 系统与外部设备进行交互装置。交互的信息通常是零件加工程序。即将编制好的记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统或将调试好了的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的控制介质上。

3、数控装置

CNC 装置是数控机床的核心，主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板，通讯接口板、特殊功能模块以及相应的控制软件等组成。

作用：根据输入的零件加工程序进行相应的处理（如运动轨迹处理、机床输入输出处理等），然后输出控制命令到相应的执行部件（伺服单元、驱动装置和 PLC 等），所有这些工作是由 CNC 装置内硬件和软件协调配合，合理组织，使整个系统有条不紊地进行工作的。

4、伺服系统

它是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节，主要由伺服电动机、驱动控制系统以及位置检测反馈装置组成。伺服电机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电机的动力源。它用来接受数控装置输出的指令信息并经过功率放大后，带动机床移动部件作精确定位或按照规定的轨迹的速度运动，使机床加工出复合图样要求的零件。

5、检测反馈系统

测量反馈系统由检测元件和相应的电路组成，其作用是检测机床的实际位置、速度等信息，并将其反馈给数控装置与指令信息进行比较和校正，构成系统的闭环控制。

6、机床本体

机床本体指的是数控机床机械机构实体，包括床身、主轴、进给机构等机械部件。由于数控机床是高精度和高生产率的自动化机床，它与传统的普通机床相比，应具有更好的刚性和抗振性，相对运动摩擦系数要小，传动部件之间的间隙要小，而且传动和变速系统要便于实现自动化控制。

13.1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，可以按不同的方法对数控机床进行分类：

按工艺用途可分为：数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床、数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控齿轮加工机床、数控冲床、数控液压机等各种用途的数控机床。

按运动方式分：

- 1) 点位控制数控机床：数控系统只控制刀具从一点到另一点的准确位置，而不控制运动轨迹，各坐标轴之间的运动是不相关的，在移动过程中不对工件进行加工。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等（图 13-2）。

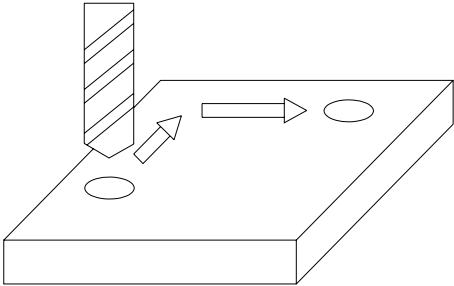


图 13-2 点位控制

- 2) 直线控制数控机床：数控系统除了控制点与点之间的准确位置外，还要保证两点间的移动轨迹为一直线，并且对移动速度也要进行控制，也称点位直线控制。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床等（图 13-3）。

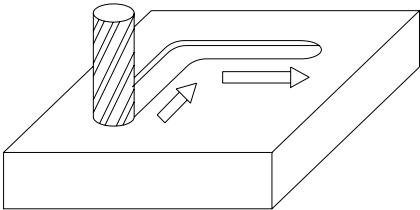


图 13-3 直线控制

- 3) 轮廓控制数控机床：轮廓控制的特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制，它不仅要控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量，也称为连续控制数控机床。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割等（图 13-4）。

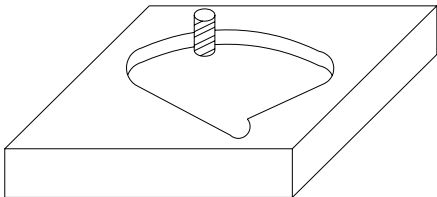


图 13-4 轮廓控制

按伺服控制方式分：

- 1) 开环控制数控机床：这类机床不带位置检测反馈装置，通常用步进电机作为执行机构。输入数据经过数控系统的运算，发出脉冲指令，使步进电机转过一个步距角，再通过机械传动机构转换为工作台的直线移动，移动部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲数所决定。

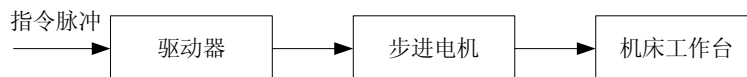


图 13-5 数控机床开环控制框图

- 2) 半闭环控制数控机床：在电机的端头或丝杠的端头安装检测元件（如感应同步器或光电编码器等），通过检测其转角来间接检测移动部件的位移，然后反馈到数控系统中。由于大部分机械传动焊接未包括在系统闭环环路内，因此可获得较稳定的控制特性。其控制精度虽不如闭环控制数控机床，但调试比较方便，因而被广泛采用。

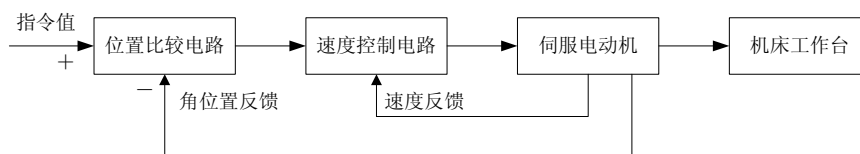


图 13-6 数控机床半闭环控制框图

- 3) 闭环控制数控机床：这类数控机床带有位置检测反馈装置，其位置检测反馈装置采用直线位移检测元件，直接安装在机床的移动部件上，将测量结果直接反馈到数控装置中，通过反馈可消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差，最终实现精确定位。

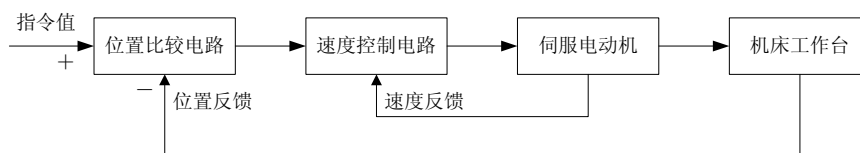


图 13-7 数控机床闭环控制框图

13.1.4 数控机床的坐标系

13.1.4.1 坐标系

为了确定数控机床的运动方向和移动距离，需要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就叫机床坐标系。数控机床的坐标系采用直角笛卡儿坐标系，其基本坐标轴为 X、Y、Z 直角坐标。大拇指为 X 轴正方向，食指为 Y 轴正方向，中指为 Z 轴正方向（图 13-8）。

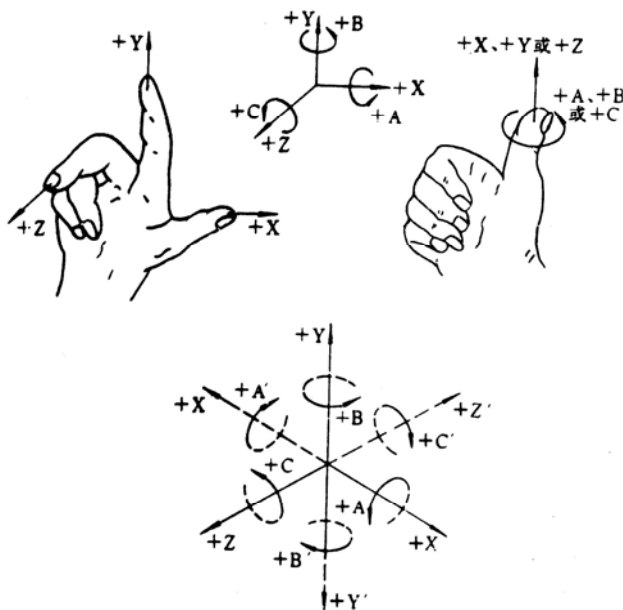


图 13-8 右手笛卡儿坐标系

13.1.4.2 坐标轴及其运动方向

不论机床的具体结构是工件静止、刀具运动，还是工件运动、刀具静止，数控机床的坐标运动指的是刀具相对静止的工件坐标系的运动。

按有关标准的规定，在机床上，平行于机床主轴方向的为 Z 轴，当机床有几个主轴时，则 Z 轴垂直于工件的装夹面，取刀具远离工件的方向为 Z 轴的正方向。

X 轴为水平方向，且垂直于 Z 轴并平行于工件的装夹面。对于工件作旋转运动的机床，在与 Z 轴垂直的平面内，刀具的运动方向为 X 轴，刀具离开主轴回转中心的方向为 X 的正方向。对于刀具做旋转运动的机床，Z 轴水平时，沿刀具主轴后端向工件方向看，向右的方向为 X 的正方向；若 Z 轴是垂直的，则从主轴向立柱看时，对于单立柱机床，X 轴的正方向向右；对于双立柱机床，从主轴向左侧立柱看时，X 的正方向指向右边。

数控机床的进给运动，有的由主轴带动刀具运动来实现，有的由工作台带着工件运动来实现。上述坐标轴正方向是假定工件不动，刀具相对于工件做进给运动的方向。如果是工件移动则用加“·”的字母表示。

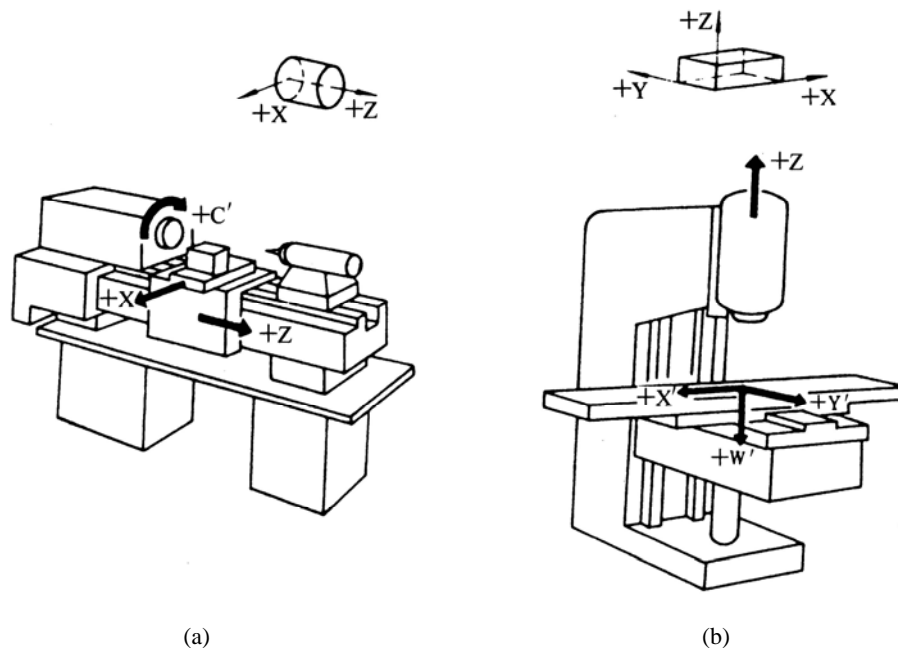


图 13-9 机床的坐标轴及其运动方向

(a)车床 (b)立式升降台铣床

13.1.4.3 坐标原点

1、机床原点

数控机床都有一个基准位置，称为机床原点，是指机床坐标系的原点，即 $X=0$, $Y=0$, $Z=0$ 的点。是机床制造厂家设置在机床上的一个物理位置，对于某一具体机床来说，机床原点是固定的。数控车床的原点一般设在主轴前端的中心，数控铣床的原点有的设在机床工作台中心，有的设在进给行程范围的终点。其作用是使机床与控制系统同步，建立测量机床运动坐标的起始点。

2、机床参考点

与机床原点相对应的还有一个机床参考点，用 R 或表示，也是机床上的一个固定点，机床的参考点与机床的原点不同，是用于对机床工作台、滑板以及刀具相对运动的测量系统进行定标和控制的点，如加工中心的参考点为自动换刀位置，数控车床的参考点是指车刀退离主轴端面 and 中心线最远并且固定的一个点。

3、工作坐标系、程序原点和对刀点

工作坐标系是编程人员在编程时使用的，编程人员选择工件上的某一已知点为原点（也称程序原点），建立一个新的坐标系，称为工件坐标系。工件坐标系一旦建立一直有效，直到被新的工件坐标系所取代。

工件坐标系的原点选择要尽量满足编程简单，尺寸换算少，引起的加工误差小等条件。一般情况下，以坐标式尺寸标注的零件，程序原点应选择在尺寸标注的基准点；对称零件或以同心圆为主的零件，程序原点应选在对称中心线或圆心上； Z 轴的程序原点通常选在工件的上表面。

对刀点是零件程序加工的起始点，对刀的目的是确定程序原点在机床坐标系中的位置，对刀点可与程序原点重合，也可在任何便于对刀之处，但该点与程序原点之间必须有确定的坐标联系。

13.1.4.4 绝对坐标编程及增量坐标编程

1、绝对坐标编程

在程序中用 G90 指定, 刀具运动过程中所有的刀具位置坐标是以一个固定的编程原点为基础给出的, 即刀具运动的指令数值是与某一固定的编程原点之间的距离给出的。

2、增量坐标编程

在程序中用 G91 来指定, 刀具运动的指令数值是按刀具当前所在的位置到下一位置之间的增量给出。

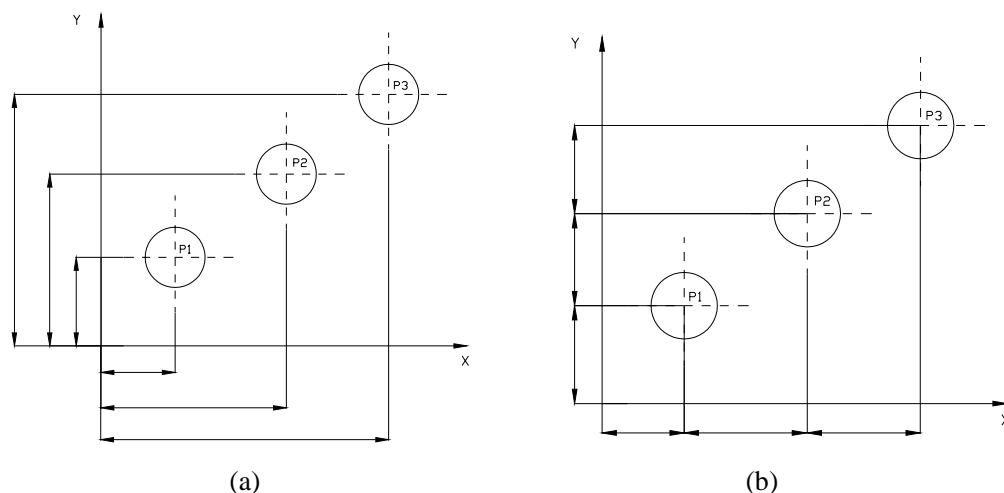


图 13-10 绝对坐标编程及增量坐标编程

(a)绝对坐标编程 (b)增量坐标编程

13.1.5 刀具补偿

数控系统的刀具补偿功能主要是为了简化编程, 使数控持续与刀具的形状及尺寸尽可能无关, 同时也是为了方便操作。CNC 系统一般都具有刀具长度补偿和刀具半径补偿功能, 详细内容参考数控车、数控铣加工与操作章节。

13.1.5.1 刀具长度补偿

现代 CNC 系统一般都具有刀具长度补偿功能, 刀具长度补偿可由数控机床操作者通过手动数据输入 (MDI) 方式实现, 也可通过程序命令方式实现。

用 MDI 方式进行刀具长度补偿的过程是: 操作者在完成零件装夹、程序原点设置之后, 根据刀具长度测量基准采用对刀仪测量刀具长度 L (或 Q), 然后在相应的刀具长度偏置寄存器中, 写入相应的刀具长度参数值。在程序运行时, 数控系统根据刀具长度基准使刀具自动离开工件一个刀具长度的距离, 从而完成刀具长度补偿, 使刀尖走程序要求的运动轨迹。

13.1.5.2 刀具半径补偿

用铣刀铣削或线切割中的金属丝切割工件的轮廓时, 刀具中心或金属丝中心的运动轨迹并不是加工工件的实际轮廓。加工内轮廓时, 刀具中心要向工件的内侧偏移一个距离; 加工外轮廓时, 刀具中心也要向工件的外侧偏移一个距离。如果直接采用刀心轨迹编程, 则需要根据零件的轮廓形状及刀具半径采用一定的计算方法计算刀具中心轨迹。当刀具半径改变时, 需要重新计算刀具中心轨迹。

数控系统的刀具半径补偿就是将计算刀具中心轨迹的过程交由 CNC 系统执行, 程序员假设刀具半径为零, 直接根据零件的轮廓形状进行编程, 而实际的刀具半径则存放在一个可编程刀具半径偏置寄存器中。加工时, 数控系统根据数控加工程序和刀具半径自动计算刀具中心轨迹, 完成对零件的加工。当刀具半径发生变化时, 仅需对存放刀具半径的偏置寄存器中的数据进行修改即可, 不需修改数控加工程序。刀具半径补偿分为刀具半径左补偿 (用

G41 定义) 和刀具半径右补偿 (G42 定义)。

13.2 数控编程

生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程, 称为数控编程。

13.2.1 数控编程的步骤

数控加工程序编制的步骤

1、分析零件图和工艺处理

主要对零件图进行分析以明确加工内容及要求, 通过分析确定该零件是否适合采用数控机床进行加工, 从而确定加工方案, 包括选择合适的数控机床、设计夹具、选择刀具、确定合理的走刀路线以及选择合理的切削用量等。基本原则是充分发挥数控机床的效能, 加工路线要尽量短, 要正确选择对刀点、换刀点, 以减少换刀次数。

2、数学处理

在完成了工艺处理工作之后, 就要根据零件图样的几何尺寸、加工路线、设定的坐标系, 计算刀具中心运动轨迹, 以获得刀位数据。计算的复杂程度取决于零件的复杂程度和所用数控系统的功能。一般的数控系统都具有直线插补和圆弧插补的功能, 当加工由圆弧和直线组成的简单零件时, 只需计算出零件轮廓的相邻几何元素的交点或切点的坐标值, 得出各几何元素的起点、终点, 圆弧的圆心坐标值。对于具有特殊曲线的复杂零件, 往往要利用计算机进行辅助计算。

3、编写零件加工程序单

根据计算出的加工路线数据和已确定的工艺参数、刀位数据, 结合数控系统对输入信息的要求, 编程人员就可按数控系统的指令代码和程序段格式, 逐段编写加工程序单。编程人员应对数控机床的性能、程序指令及代码非常熟悉, 才能编写出正确的加工程序。

4、程序输入

程序的输入由手动数据输入、介质输入、通信输入等方式, 具体采用何种方式, 主要取决于数控系统的性能及零件的复杂程度。对于不太复杂的零件常采用手动数据输入 (MDI), 介质输入方式是将加工程序记录在穿孔带、磁盘、磁带等介质上, 用输入装置一次性输入。由于网络技术的发展, 现代 CNC 系统可通过网络将数控程序输入数控系统。

5、校验

程序输入数控系统后, 通过试运行, 校验程序语法是否有错误, 加工轨迹是否正确。

思考题:

- 1、数控机床由哪几部分组成?
- 2、数控编程要经过哪几个步骤?
- 3、按运动方式数控机床分哪几类?