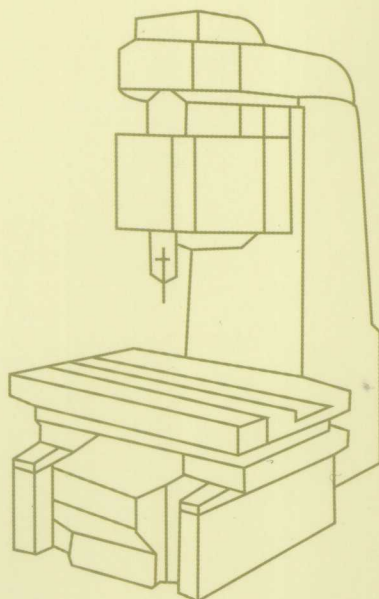


普通高等院校机械类“十一五”规划教材

机床数控技术与编程

于超 杨玉海 郭建焯 编著



JICHUANG SHUKONG JISHU YU BIANCHENG



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校机械类“十一五”规划教材

机床数控技术与编程

于超 杨玉海 郭建烨 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了机床数控技术的基本原理及数控程序编制的有关知识。主要包括:数控机床产生和发展过程、插补原理、CNC 硬件和软件结构与功能、PMC 基本原理、常用检测装置的结构和工作原理、常用伺服系统工作原理、工件程序编制的基础知识和基本指令、数控机床坐标系、刀具补偿、固定循环和子程序、用户宏程序、手工编程与自动编程、典型程序编制、程序编制中的数学处理等。

本书内容全面深入,各章既有联系又有一定的独立性,特别适合作为高等院校本科生和研究生的教材,也可作为研究设计单位、工厂的数控技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术与编程/于超,杨玉海,郭建焯编著. —北京:国防工业出版社,2010.3
普通高等院校机械类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06619-7

I. ①机... II. ①于... ②杨... ③郭... III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 005946 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17 1/4 字数 411 千字

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、精密检测技术、自动控制技术以及精密机床的设计制造技术,是一个典型的机电一体化产品。随着数控机床性价比的逐渐提高,数控机床在制造业的各个领域应用越来越广泛,使制造业的面貌发生了革命性的变化,而且这种影响越来越深刻。随着相关技术的发展,数控机床也正在发生着日新月异的变化。为了发展数控机床和更好地使用数控机床,必须了解数控技术和加工程序编制。

本书以机械设计制造及自动化专业和机械电子专业学生应掌握的知识为出发点,在形式上尽力符合机械类专业学生的思维模式,并结合数控机床模块化设计制造的总体思路,讲解数控装置、检测装置、伺服系统等数控技术知识,使学生掌握数控机床各部件的选用、使用、维护的基本概念。在数控程序编制方面,详细地讲解数控程序编制的基础知识及工作方法,并对数控程序进行归类举例,由浅入深地论述了复杂曲面的数学处理方法。

本书包括数控技术与数控程序编制两大部分,共8章。第2章数控机床轨迹控制原理、第3章计算机数控(CNC)系统由沈阳航空工业学院郭建焯编写;第4章检测装置由郭建焯与杨玉海编写;第8章编程中的数学处理由沈阳航空工业学院杨玉海编写;第1章概论、第5章数控机床的伺服系统、第6章数控编程的基础知识由沈阳航空工业学院于超编写;第7章数控程序编制由于超与杨玉海编写。全书的组织和统稿工作由于超完成。在本书的编写过程中得到了张建中、庞丽君、朱虎、李景奎、王明海、刘红军等老师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,在疏漏和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 机床数控技术的基本概念	1
1.2 数控机床的分类	3
1.3 数控机床的产生和发展	5
1.4 数控加工的程序编制	6
思考和作业题	11
第 2 章 数控机床轨迹控制原理	12
2.1 概述	12
2.2 逐点比较法	13
2.3 数字积分法	21
2.4 数据采集插补	32
2.5 数控装置的进给速度与加减速控制	38
思考和作业题	45
第 3 章 计算机数控 (CNC) 系统	47
3.1 概述	47
3.2 CNC 装置的硬件结构	52
3.3 CNC 装置的软件结构	59
3.4 CNC 装置软件的控制功能	65
3.5 数控机床的可编程控制器 (PLC)	79
思考和作业题	88
第 4 章 检测装置	89
4.1 概述	89
4.2 旋转变压器	91
4.3 感应同步器	94
4.4 光栅	97
4.5 磁栅	104
4.6 编码器	109
思考和作业题	115
第 5 章 数控机床的伺服系统	117
5.1 概述	117
5.2 步进电动机伺服系统	120
5.3 直流伺服电动机及其速度控制	129

5.4 交流伺服电动机及变频调速	135
5.5 位置控制	140
思考和作业题.....	143
第6章 数控编程的基础知识	145
6.1 编程中的工艺处理	145
6.2 数控编程常用指令	153
6.3 机床坐标系与工件坐标系	160
6.4 刀具半径补偿与长度补偿	163
6.5 固定循环和子程序	169
6.6 数控车床编程基础	178
6.7 变量参数编程与用户宏程序	187
6.8 CAD/CAM 编程软件概述	190
思考和作业题.....	205
第7章 数控程序编制	207
7.1 孔系加工程序编制	207
7.2 平面轮廓加工程序编制	215
7.3 解析曲面加工程序编制	220
7.4 数控车床的程序编制	223
思考和作业题.....	228
第8章 编程中的数学处理	231
8.1 非圆曲线(平面)轮廓的数学处理	231
8.2 列表曲线轮廓零件编程中的数学处理	235
8.3 列表曲面的数学处理	264
思考和作业题.....	275
参考文献	277

第 1 章 概 论

1.1 机床数控技术的基本概念

1. 机床数控技术

机床数控技术就是以数字信号实现机床控制的一门技术(Numerical Control),简称数控(NC)。采用数字控制技术的机床称为数字控制机床(NCMT, Numerical Control Machine Tools),简称数控机床。

2. 数控机床的组成

如图 1-1 所示,数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和检测装置、机床本体五部分组成。

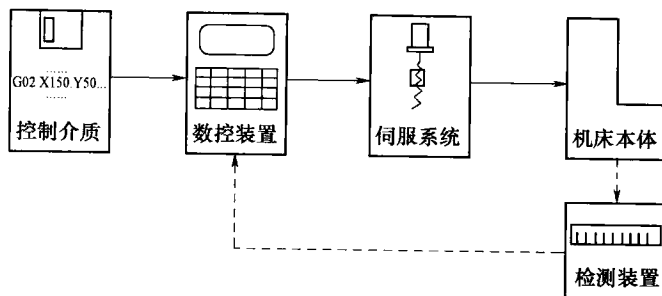


图 1-1 数控机床的组成

1) 控制介质

控制介质是加工程序的载体。早期的控制介质是穿孔纸带,并规定了 ISO(国际标准化组织)和 EIA(美国电子工业协会)两种标准信息代码,加工程序编制好后,按标准制成穿孔纸带,加工时,由读带机将指令读入数控装置。现在的加工程序大多存储在数控装置的外存储器中,加工时,将程序读到程序存储器中执行。

2) 数控装置

数控装置一般是一台专用计算机,由中央处理单元(CPU)、存储器、总线和输入输出接口及外围逻辑电路构成。其主要工作是对输入的数控程序及有关数据进行存储与处理,通过插补运算等形成运动轨迹指令,再通过伺服系统,实现刀具与工件的相对运动,并且通过 PLC 对开关量实现逻辑控制。

3) 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换为机床移动部件的运动,使机床工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动。伺服机构一般包括驱动装置(驱动电路)和执行机构(驱动元件和传动件)两大部分,驱动元件有步进电动机、直流伺服电动机

机和交流伺服电动机。由于伺服系统是将数字信号转化为位移量的环节,因此,它的静态和动态特性决定了数控机床的加工质量和生产率。相对于每一个脉冲信号,机床移动部件的位移量称为脉冲当量,一般用 δ 表示。常用的脉冲当量为每脉冲0.01mm、0.005mm、0.001mm。

4) 检测装置

检测装置可以包括在伺服系统中,它由检测元件和相应的电路组成,其作用是检测速度和位移,并将信息反馈回来,构成反馈控制。由于现在的直流伺服电动机和交流伺服电动机都带有测速发电机等速度检测元件及光电编码器等位置检测元件,所以检测装置应用广泛。

5) 机床本体

机床本体包括机床的主传动部件、进给传动部件、刀具安装装置、工件安装装置、床身等基础部件。由于数控机床在加工过程中切削用量大、连续加工发热多,并且在加工过程中工作精度不能人为进行补偿,因此与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。

3. 数控机床的工作原理

数控机床加工零件时,首先要将零件图纸上的几何尺寸和机加工工艺参数用规定的代码和格式编写成加工程序,然后将加工程序输入数控装置,经过计算机的处理、运算,把指令脉冲送到各坐标轴的驱动电路,经过转换、放大去驱动伺服电动机,使各坐标轴移动若干个最小位移量,并且在闭环和半闭环数控系统中还要进行反馈控制,使各轴精确走到程序要求的位置,实现刀具与工件的相对运动,完成零件全部轮廓的加工。

通常把数控机床上刀具运动轨迹是直线加工的称为直线插补;刀具运动轨迹是圆弧加工的称为圆弧插补。数控机床在各个坐标轴的最小移动量都是直线段,在加工直线和圆弧时,要用不同方向的折线去逼近直线和圆弧,所谓插补就是根据有限的数值(起点和终点坐标)对数据进行密化从而进行各坐标的脉冲分配。一般的数控系统都具有直线和圆弧插补功能,能加工出各象限直线和圆弧。对于非圆曲线和列表曲线,根据要求的加工精度,首先用直线段或圆弧段去逼近,称为数学处理(第一次插补),然后再进行数控插补(第二次插补)。

数控机床的数字控制功能是由数控系统完成的。数控系统包括:数控装置、伺服驱动和检测装置、可编程控制器等。数控装置能接受零件图纸加工要求的信息,进行插补运算,实时地向各坐标轴发出控制指令。伺服驱动装置能快速响应数控装置发出的指令,驱动机床各坐标轴运动,同时能提供足够的功率和扭矩。伺服系统中常用的驱动装置,根据控制系统的类型不同而不同,开环伺服系统常用步进电动机,闭环伺服系统常采用脉宽调速直流电动机和交流伺服电动机等。检测装置将坐标位移的实际位置检测出来,反馈给数控装置中的比较器与指令位置进行比较,实现偏差控制。伺服系统中常用的检测装置有测量线位移的光栅、磁栅、感应同步器等,测量角位移的旋转变压器、数字脉冲编码器等。可编程控制器(PLC)在数控机床中一般用来对一些逻辑开关量进行控制,如:主轴的启、停,刀具更换,冷却液开关等。

4. 数控机床的特点和应用

由于数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、自动控制技术以及精密机床设计

与制造技术,具有专用机床的高效率、精密机床的高精度和通用机床的高柔性等显著特点,具体说来包括以下几个方面:

1) 自动化程度高、柔性好

由于采用数控程序控制,加工中多采用通用型工装,只要改变数控程序,便可实现对新零件的自动化加工。由于数控机床采用计算机插补技术和多坐标联动控制,可以实现任意的轨迹运动和加工出任何复杂形状的空间曲面,可方便地完成各种复杂曲面,如螺旋桨、气轮机叶片、汽车外形冲压用模具等类零件的加工。

2) 加工精度高,加工质量稳定

数控机床的机械结构是按照精密机床的要求进行设计和制造的,传动采用滚珠丝杠,装配时消除了传动间隙,并采取了提高刚度的措施,传动精度很高;机床导轨采用滚动导轨或粘接有磨擦因数很小的合成塑料,因而减小了磨擦阻力,消除了低速爬行。闭环、半闭环伺服系统,装有精度很高的位置检测元件,并随时把位置误差反馈给计算机,使之能够及时地进行误差校正。此外,数控机床是根据数控程序自动工作,一般在工作过程中不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差,因而加工质量稳定。

3) 生产效率高

数控机床良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量和进行强力切削,并且数控机床上使用的刀具通常是不重磨装夹式刀具,且都有很硬的表面涂层,可以高速切削,因而,基本工艺时间少。加工中心的刀库有足够数量的刀具,自动换刀的速度很快,工件一次装夹,可进行多面和多工步加工,可大大减少工件装夹次数;空行程的速度在 $15\text{m}/\text{min}$ 以上,有些达到了 $240\text{m}/\text{min}$,因而,辅助时间很短。与普通机床相比,数控机床的生产率可提高二三倍,有些可提高几十倍。

4) 减轻劳动强度、改善劳动条件

由于数控机床的操作者主要是利用操作面板对机床的自动加工进行操作,大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,并且可以实现一个人轻松管理多台机床。

5) 有利于现代化生产与管理

采用数控机床加工能方便精确计算零件的加工工时或进行自动加工统计,能精确计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。

总之,数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向。数控机床是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、群控或分布式控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造系统的基础。

但是与普通机床相比,数控机床的初始投资及维护费用较高,要求具有较高技术水平和文化程度的工人和维修人员进行操作和维修。所以,应该从生产实际出发,合理地选择与使用数控机床。

1.2 数控机床的分类

数控机床的种类繁多,根据数控机床的功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

1. 按工艺用途分类

1) 金属切削类

这一类是数控机床的主要类型,又可以分为两类,一类是普通数控机床,包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床等,其工艺用途与传统车床、铣床、钻床、磨床等基本相似。另一类是加工中心,其主要特点是具有刀库和自动换刀装置,工件一次装夹后可进行多种工步加工,主要有铣镗加工中心和车削加工中心两类,一般所说的加工中心指的是前者,主要完成铣、镗、钻、攻丝等加工,后者主要完成回转体零件各表面加工。

2) 金属成形类

这类数控机床有数控折弯机、数控弯管机、数控压力机等。

3) 特种加工类

主要指数控电火花线切割机、电火花成形机、激光加工机等。

4) 测量绘图类

主要有三坐标测量机、绘图机、对刀仪等

2. 按控制的运动轨迹分类

1) 点位控制数控机床

对于一些加工孔用的数控机床,只要求精确的孔系坐标定位精度,而对从一个孔到另一个孔的运动轨迹和运动速度不进行数字控制,具有这种运动控制的机床称为点位控制数控机床,如数控冲床、数控钻床、坐标镗床等。

2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床是在点位控制基础上,能对单个机床坐标轴的移动速度进行控制,这类机床有2个或3个可控轴,但同时控制轴只有1个。这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控磨床等,能完成简单台阶形或矩形零件的加工。

3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其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控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的要求。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算的功能,即根据加工程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),进行插补运算,并且边计算边根据计算结果发出指令脉冲,控制两个或两个以上坐标轴协调运动。目前的大多数金属切削机床的数控系统都是轮廓控制系统。

根据同时控制坐标轴的数目可以分为2轴联动、2.5轴联动、3轴联动、4轴联动、5轴联动数控机床。2.5轴联动是三个主要控制轴(x, y, z)中,任意两个轴联动,另一轴做点位直线控制。

3. 按伺服系统控制方式分类

1) 开环伺服系统

这种控制方式不带位置测量元件。数控装置将零件的程序处理后,输出脉冲信号给伺服电动机,驱动机床工作台运动。机床工作台的位移精度主要取决于伺服电动机和传动机构的精度。这类机床较为经济,但是速度及精度都较低。由步进电动机驱动的中、小型数控机床多属此种类型。

2) 闭环控制数控机床

这类机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机,工作台的实际位移能通过检测装置反馈给数控装置中的比较器,与指令值进行比较,再用比较的差值控制伺服电动机,补偿传动系统的误差。这类机床的定位精度高,但其控制系统复杂,成本高,对机床的使用环境要求高,只适用于要求加工精度较高的数控机床。

3) 半闭环控制数控机床

当把位移测量装置移到滚珠丝杠或伺服电动机轴的端头时,便形成了半闭环控制系统。这种系统的闭环环路内不包括惯量很大的机床工作台,而且很多伺服电动机出厂时带有速度和位移测量装置,使得系统稳定性易于保证。由于只能间接测量工作台的位移和速度,不能补偿传动装置的误差,精度较闭环系统低。但系统简单,安装、调试都比较方便,广泛用于中等以上精度的数控机床。

1.3 数控机床的产生和发展

1. 数控机床的产生和发展过程

数控机床最早产生于美国,是为解决航空与航天技术方面的大型和复杂零件的单件、小批量生产而发展起来的。1952年,美国帕森斯(Parsons)公司和麻省理工学院合作研制成功了世界上第一台数控机床,它是一台三坐标数控铣床,用于加工直升机叶片轮廓检查用样板。数控铣床的计算与控制装置采用电子管元件组成的专用计算机,即逻辑运算与控制采用硬件连接电路。1955年,该类机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。

到现在为止,数控系统经历了两个阶段和六代产品的发展过程。这六代是指电子管数控系统、晶体管数控系统、集成电路数控系统、小型计算机数控系统、微处理器数控系统和基于工业PC机的通用CNC系统。前三代为第一阶段,数控系统主要是由硬件连接构成,称为硬件数控;后三代称为计算机数控(CNC, Computer Numerical Control)其功能主要由软件完成(一般是软件和硬件相结合),又称为软件数控。20世纪50年代初到70年代末近30年当中,数控机床尽管经历了五代产品发展过程,但由于其价格昂贵、加工费用高、故障率高、应用技术复杂和各项配套措施尚在发展中等原因,其实际应用的普及率并不高。近30年来,随着微电子技术及相关技术的发展,特别是微处理器技术的应用,使数控机床的性能价格比有了极大的提高,实际应用普及率越来越高,使得数控机床已成为现代机械制造技术的基础。

1958年由清华大学和北京机床研究所研制了我国第一台电子管控制的数控机床。我国的数控系统同样经历了两个阶段和六代发展历史。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,使我国的数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前,我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心。在数控技术领域中,我国和先进的工业国家之间还存在着不小的差距,但这种差距正在缩小。

2. 数控技术的发展趋势

随着科学技术的发展,制造技术的进步,以及社会对产品质量要求越来越高,对

品种多样化的要求越来越强烈,中小批量生产的比重明显增加,要求现代数控机床成为一种高效率、高质量、高柔性和低成本的新一代制造设备。同时,为了满足制造业向更高层次发展,为柔性制造系统(FMS),以及计算机集成制造系统(CIMS)提供基础设备,也要求数控机床向更高水平发展。这些要求要由数字控制技术的发展来实现,所以对数控装置、伺服系统、检测装置、机床本体提出越来越高的要求。具体体现在以下几个方面:

1) 具有先进的自检能力,使之能长期可靠地工作

在现代数控机床上装配有多种监控、检测装置,如红外线、声发射、温度测量、功率测量、激光检测等手段对加工精度、刀具磨损及破坏、工件装夹等进行监控,提高机床的综合性能,使之能够更精确可靠地工作。

2) 向高速、高精度发展

高速是指数控机床的高速切削和高速插补进给,目标是在保证加工精度的前提下,提高加工速度。这不仅要求数控系统的处理速度快,同时还要求数控机床具有大功率和大转矩的高速主轴、高速进给电动机、高性能的刀具、稳定的高频动态刚度。高精度包括高进给分辨率、高定位精度和重复定位精度、高动态刚度、高性能闭环交流数字伺服系统等。数控机床由于装备有新型的数控系统和伺服系统,使机床的脉冲当量和进给速度达到 $0.1\mu\text{m}(24\text{m}/\text{min})$, $1\mu\text{m}(100\text{m}/\text{min} \sim 240\text{m}/\text{min})$ 甚至更高。

3) 更高的生产率和利用率

在数控机床上装有自动换刀、自动更换工件等机构,实现一次装夹完成更多的加工内容,减少装卸刀具、装卸工件及调整等辅助时间。在同一台机床上进行粗、精加工。采用更大功率的主轴电动机和新型刀具,提高切削速度,缩短加工时间。

4) 单元模块化

数控机床的主轴部件、变速箱立柱、工作台、刀架、刀库等都可模块化生产,有专门生产厂家供货,需要时组装成各种不同形式的机床。不仅可提高产品质量,也大大的缩短机床的生产周期。

5) 有更强的通信功能、图像编程和显示功能

更先进的数控机床有自动编程能力,通过键盘和图像显示可进行人机对话,可根据图样自动编程并通过远距离的串行接口输入给机床,使之能自动加工。

1.4 数控加工的程序编制

数控机床是按照事先编制好的数控加工程序自动进行加工的高效率自动化设备,编制的加工程序是否合理,将影响到工件的加工质量、生产效率和成本、以及数控机床的可靠性和安全性。所以数控加工程序编制工作是数控机床使用中最最重要的一个环节。

1. 数控加工程序指令格式

1) 程序结构

一个零件加工程序是由一个完整的程序串组成,这个程序串定义了数控机床上加

工过程的操作的指令序列。一个加工程序通常包括:程序开始字符(程序号);程序段(指令内容);程序结束字符。程序开始字符放在程序的第一个程序段之前,而程序结束字符则包含在程序的最后一个程序段之中,如图 1-2 所示。

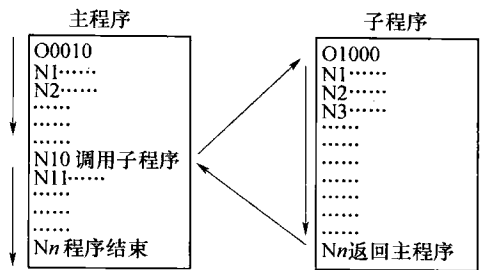


图 1-2 主程序与子程序关系

实际上,零件加工程序的结构形式,是随数控装置不同而异。对于 CNC 系统,加工程序可分为主程序和子程序,它们都由许多程序段所组成,数控装置在运行主程序过程中,一旦遇到某个子程序调用指令就转入到这个子程序运行,当遇到返回主程序指令后,则返回到主程序继续运行,其关系如图 1-2 所示。

主程序和子程序虽然内容不同,但程序格式是相同的。用这种程序结构可以大大简化加工程序编制的工作。

2) 程序段的格式

一个程序段不论是在主程序中还是在子程序中,其功能都是执行一个动作或一组操作,因此,程序段中应包括需要完成的动作或操作的全部数字信息。所以,程序段由若干个“字”(每个“字”是某种控制的具体指令)和“程序段结束”字符所组成。每一程序段是按规定的次序书写的,其格式和内容随控制机不同而异,一般为

N - - Gxx X - - Y - - Z - - 其他坐标 F - - S - - T - - Mxx 其他附加指令 CR

上述各种功能符号的含义是:N 是程序段顺序号,为便于检索用,通常由 N 和 1 位~4 位数字表示;G 是准备功能指令,常用的 G 指令见表 6-1。第二部分内容是各坐标的运动尺寸,对于多坐标系,其顺序是 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、I、J、K、A、B、C(它们的含义见表 6-3)。第三部分内容是一些工艺性指令,包括坐标进给速度 F、主轴转速 S、刀具号 T 和辅助功能指令 M。常用的 M 指令见表 6-2。如果还有其他附加指令则列于 M 指令之后。最后是程序段结束字符 CR 或 LF(也有用 * 或;表示)。

上述程序段格式是:每一个程序段都是由一系列开头是英文字母、其后是数字的信息单元——“字”所构成,每个“字”是根据字母来确定其意义。这样的英文字母称为“字地址”,所以这种程序段格式叫做字地址程序段格式,或称为可变程序段格式。后一称谓是因为这种程序段格式对各“字”的先后排列可以不严格;坐标尺寸字的数字位数一般不超过控制机所规定的容量,按需要可多可少,不必填满位数。例如程序段“N65 G00 G90 Z10.0 Y0.0 S1500 T1 M03;”清楚地表明这种程序格式的特点:程序段内包含的信息一目了然,有错误便于修正;程序段中的“字”数目及排列顺序或一个“字”中的字符数目具有可变性。由于这种程序段格式直观、简短、对程序编制方便,故广泛使用。

2. 数控编程的步骤

程序编制一般要经过工艺的制订、数值计算、编写程序单、制备输入介质及程序校核与首件试切等主要步骤,如图 1-3 所示。

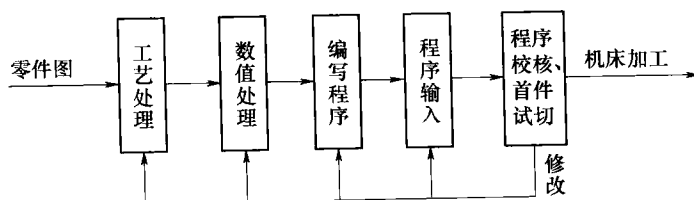


图 1-3 数控加工程序编制的一般过程

1) 工艺处理

在分析零件图样要求是否适合用数控加工及现有设备条件的基础上,确定数控加工的工序并选用合适的数控机床;然后进行数控工序的详细设计,包括工件的定位与装夹、工步的划分、走刀路线的确定、刀具与切削用量的选用、工序卡等工艺文件的编写,作为编制数控加工程序与工装准备的依据。

2) 数学处理

数学处理的主要任务是计算出编程时所需的刀位点的坐标值。首先在零件图样上建立编程坐标系作为计算坐标数据的基准;然后根据零件的几何尺寸及确定的走刀路线计算走刀轨迹的坐标数据,并以此作为程序刀位数据的依据。

一般的数控系统均具有直线插补、圆弧插补及刀具补偿功能。对于由圆弧和直线组成的简单零件,只需计算出基点(直线、圆弧的交点和切点)坐标值,得出各几何元素的起点、终点和圆弧的圆心坐标值。

对于可以用方程表示的非圆曲线,按照编程允许误差,对非圆曲线进行分割,然后将分割点(非圆曲线上的这些分割点称为节点。)用直线或圆弧进行连接以便对曲线进行逼近。这时要计算出节点坐标值。

对于不能用特性方程描述,而是以离散的坐标点给出的曲线(列表曲线),首先,要构造一条样条曲线,建立数学模型,即第一次逼近;再按照处理非圆曲线的数学处理方法,计算节点坐标。

掌握数学处理的思路和方法,是开发和应用自动编程软件的基础。

3) 编写加工程序单

根据工序卡已确定的工步与走刀路线、刀号、切削参数、辅助操作以及上述计算所得出的运动轨迹坐标值,按机床规定的功能指令与程序格式逐段编写加工程序。

4) 程序输入

程序输入有手动数据输入、介质输入、通信输入等方式。

现代 CNC 系统存储容量大,可储存多个零件加工程序,且可在不占用加工时间的情况下进行程序输入。因此,对于不太复杂的零件常用手动数据输入(MDI),显得较为方便、及时。介质输入方式是将加工程序记录在穿孔带、磁盘等介质上,用输入装置一次性输入。穿孔带方式由于是用机械的代码孔,不易受环境(磁场、粉尘等)影响,是数控机床

传统信息载体,但随着数控技术的发展,正逐渐被磁盘取代。介质输入方式常用于程序量较大的情况,输入快捷,便于长期保存和重复使用。

5) 程序校核与首件试切

程序单和所制备的控制介质必须经过校验和试切削才能正式使用。一般的方法是将控制介质上的内容直接输入到 CNC 装置进行机床的空运转检查,即在机床上用笔代替刀具,坐标纸代替工件进行空运转画图,检查机床运动轨迹的正确性。在具有 CRT 屏幕图形显示的数控机床上,用图形模拟刀具相对工件的运动,则更为方便。但这些方法只能检查运动是否正确,不能查出由于刀具调整不当或编程计算不准而造成工件误差的大小。因此,必须用首件试切的方法进行实际切削检查,它不仅可查出程序单和控制介质的错误,还可知道加工精度是否符合要求。当发现尺寸有误差时,应分析错误的性质,或者修改程序单,或者进行尺寸补偿,直至满足图样要求。至此,一个加工程序的编制方告完成,才能进行批量加工。

3. 数控编程的方法

数控编程就是将加工过程中刀具的轨迹、工艺参数等信息用 CNC 所能识别的代码表示。这种代码已经标准化了,国际上通用的有两种标准,即 ISO 标准和 EIA 标准。我国正式公布的数控标准是 JB3208-83《数字控制机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 的代码》等,与 ISO1056-1975E 基本一致。

根据零件加工表面的复杂程度,数值计算的难易程序、数控机床的数量及现有编程条件等因素,可采用不同的编程方法。

1) 手工编程

手工编程就是如图 1-3 所示的编程过程全部或主要由人工完成,有时也借助于通用计算机进行一些复杂的数值计算。对几何形状不太复杂或孔数不多的点位加工,所需程序不多,计算也较简单,校核也较容易,这时用手工编程显得经济、及时,因而至今仍被广泛应用。但对复杂程度较高的零件,特别是曲线、曲面(如叶片、复杂模具型腔)、几何形状并不复杂但程序量大的零件(如复杂孔系的箱体)及数控机床拥有量较大而产品不断更新的企业,手工编程就很难胜任,显得效率低、周期长、易出错,甚至会严重影响数控机床的开工率与生产计划。

2) 自动编程

自动编程是用计算机及其外围设备并配以专用的系统处理软件进行编程。根据编程系统输入方法及系统处理方式的不同,主要有批处理式、交互式、实物模型等编程系统。

批处理方式即数控语言输入方式。它是编程人员根据零件图形用数控语言编写一个简短的零件源程序,一次性输入计算机,经计算机处理后便自动输出加工程序及控制介质,无需人工参与。如有错误则修改源程序,重新输入处理。

交互式编程即交互图形编程。其特点是以人机对话输入的工作方式,按菜单提示与图形显示,从零件几何图形的生成、几何元素的定义、坐标系的建立、刀具的选择、起刀点与走刀路线的确定、刀具中心运动轨迹的计算、工艺指令的插入,直至加工程序的生成与运动轨迹的动态图形显示,都是在编程人员与计算机反复对话中完成。此方法不需烦琐的数控语言,若有错可随时修改,显得直观、灵活,功能强,目前已被广泛应用。

应指出的是,手工编程与自动编程只是应用场合与编程手段的不同,而所涉及的内容

基本相同,最终所编出的加工程序应无原则性差异,都必须遵守具体数控机床数控程序所规定的指令代码、程序格式及功能指令编程方法。

4. 数控机床的坐标系

统一规定数控机床的坐标轴和运动方向并共同遵守,这样将给数控系统和机床的设计、程序编制和使用维修带来极大的便利。国际标准化组织以及一些工业发达国家都先后指定了数控机床坐标和运动命名的标准。我国机械工业部也于 1982 年颁布了 JB3051-82 标准,该标准中规定的坐标轴和运动方向的命名原则如下:

(1) 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,确定坐标系时一律看做是工件相对静止,刀具产生运动。

(2) 标准的坐标系是一个右手直角笛卡儿坐标系。

(3) 刀具远离工件的运动方向为坐标的正方向。

(4) 机床主轴旋转运动的正方向是按照右旋螺纹进入工件的方向。

每台机床都有自己的坐标系和坐标原点,它们是编制零件加工程序的重要依据。如果在基本的直角坐标 X, Y, Z 之外,另有轴线平行于它们的坐标系,则附加直角坐标系指定为 u, v, w 和 p, q, r 。这些附加坐标系的运动方向与基本坐标系对应坐标运动方向相同。围绕 x, y, z 轴的旋转坐标分别用 a, b, c 表示,如图 1-4 所示。

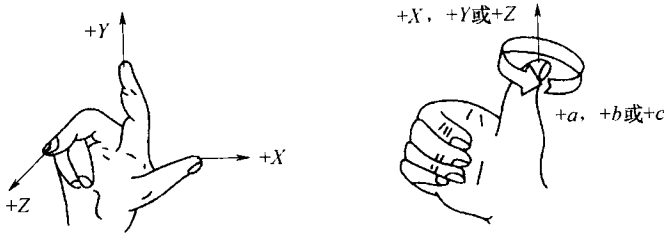


图 1-4 坐标系判定

通常 Z 轴平行于机床主轴, X 轴水平,并且是主要进给方向,坐标的正向为增大工件与刀具距离的刀具运动方向。 X 轴与 Z 轴确定后,由右手定则确定 Y 轴,如图 1-5 所示。

每台数控机床出厂时,都规定好了自己的机床坐标系,使用者可以从使用说明书中查阅,以此作为编程依据。

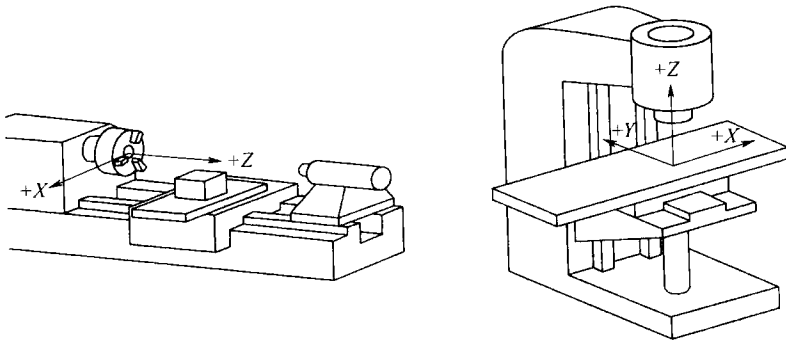


图 1-5 车床、立式升降台铣床坐标轴示意

思考和作业题

- 1-1 什么是数字控制机床？它是在什么时代背景下产生的？
- 1-2 画出数控机床的组成框图，简述各部分的主要功能。
- 1-3 什么叫脉冲当量？目前数控机床的脉冲当量是多少？
- 1-4 数控机床加工有什么特点？应用范围是怎样的？
- 1-5 按工艺用途、数控机床分为哪些种类？
- 1-6 何谓点位控制、直线控制、轮廓控制？三者有何区别？
- 1-7 什么是字地址程序段格式，有何优点？
- 1-8 数控加工编程工作的主要内容有哪些？首件试切的目的是什么？
- 1-9 什么是手工编程和计算机辅助（自动）编程？
- 1-10 数控机床的坐标轴与运动方向是怎样规定的？
- 1-11 解释下列术语：NC、CNC、CAD/CAM、DNC、FMS、CIMS。