

林奕鸿 等编著

JICHUANG  
SHUKONG  
JISHU JIQI  
YINGYONG

# 机床数控技术 及其应用

机械工业出版社

# 机床数控技术及其应用

林奕鸿 等编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

### 内 容 简 介

本书旨在系统地、规范地介绍数控领域内的新产品、新技术、发展动向及应用实例,在介绍数控技术基本原理的同时重点介绍它的实际应用及应用方法。全书以微型机数控为主,有选择地介绍了在我国普遍应用的若干典型系统。本书内容全面、系统,集理论与应用于一体,既可作指导实际应用的工具书、参考书,又可作教材,可供具有大专以上文化程度的机械工程技术人员、行业管理人员和大、中专院校有关专业师生、培训人员使用。

### 机 械 控 制 技 术 及 其 应 用

责任编辑:蔡永琳 责任校对:黄薇  
封面设计:郭景云 版式设计:冉晓华  
责任印制:卢子祥

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京交通印务实业公司印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张 30<sup>1</sup>/<sub>4</sub>·字数 743 千字  
1994年1月北京第1版·1994年1月北京第1次印刷  
印数 0 001—2 650·定价:38.00 元

ISBN 7-111-03767-7/TH·454

## 《机床数控技术及其应用》编辑委员会

**主任委员:** 黄 浙

**副主任委员:** 张佩珠

何文立

**委 员:** 杨学桐

张维智

王跃能

林奕鸿

韩至骏

孙 健

于胜军

冯常学

## 前 言

数控技术是微电子技术、计算机技术、监控检测技术、自动控制技术与机械工程深度结合的机电一体化的高技术。采用数控技术可以大大提高零件的加工质量,缩短生产周期,将机械加工装备的功能、质量、可靠性提高到一个新水平,并促使机械加工行业的产品结构、生产方式、管理体制发生深刻的变化。可以说数控技术的应用及其发展对机械加工工业是一次革命。因此,工业发达国家和大部分发展中国家都曾把数控技术作为实现机械工业技术革新的战略重点。我国机床行业经过40多年的努力,通过自行开发、科技攻关、引进技术、合作生产等手段,已形成一定的数控装置和数控机床的生产能力。为了进一步介绍数控技术,宣传数控机床的使用价值,国家机械电子工业部机床工具司组织编写了《机床数控技术及其应用》一书。

本书旨在系统地、规范地介绍数控领域内的新产品、新技术,发展动向及应用实例,在介绍数控技术基本原理的同时重点介绍它的实际应用及应用方法。全书以微型机数控为主,有选择地介绍了在我国普遍应用的若干典型系统。本书可供具有大专以上文化程度的机械工程技术、行业管理人员和大、中专院校有关专业的学生、培训人员使用。

本书分上、下两篇,共12章,主要分3个部分:第一章是概论,阐述数控的基本概念、特点及基本功能;第二章至第八章为原理篇,较系统、全面地介绍数控机床主体的结构与制造工艺特点,数控系统的硬件构成及软件技术(控制原理、编程技术、可靠性技术),驱动与伺服技术,检测技术;第九章至第十一章以及编入下篇的第十二章为应用篇,着重介绍几种典型数控系统,数控技术在制造单元与制造系统中的应用,数控机床的经济性分析及普通机床的数控化改造。

为做好本书的编写工作,机械电子工业部机床工具司于1989年初组织召开了编写工作会议,机床工具司领导、机械工业出版社代表、各章主要编写人员参加了会议,会议讨论通过了以机床工具司总工程师黄浙为主任,张佩珠、何文立为副主任组成的编写委员会,确定林奕鸿教授为本书主编,负责全书总编辑工作;王跃能、冯常学为副主编,协助编委会及总编辑工作。聘请韩至骏、孙健二位教授为本书主审。会议还确定了全书及各章节的编写提纲。

本书的第一章由林奕鸿编写,第二章由于胜军、李则贤、蒋惟朴、朱光庄编写,第三章由冯常学、林奕鸿,甘锡英编写,第四章由甘锡英、朱志宏编写,第五章由刘守善、刘继远、朱正熹、江明、樊恩德编写,第六章由韩毓鼎编写,第七章由张曰敏编写,第八章由周祖德编写,第九章由刘继远、杨和金编写,第十章由洪元义编写,第十一章由姜书瀛、革非编写,第十二章由郭道西等同志参加讨论并执笔,初稿完成后由林奕鸿进行统稿,并对其中某些内容进行修改,以后又根据主审意见再作修改、定稿。应当说明的是,本书的编写工作始终是在机械电子工业部机床工具司的积极支持和指导下进行的。本书的编写工作还得到华中理工大学、武汉重型机床厂、武汉水运工程学院、成都新都电子仪器厂等单位领导及有关人员的热情支持。本书引用了国家自然科学基金重大项目“机械制造若干关键技术”研究成果,

还大量引用了国内外许多文献资料，在此，对上述有关同志、单位表示感谢。

本书是集体编写，由于水平有限，时间也较仓促，书中不准确甚至错误之处，请读者不吝指正。

编著者

1992年12月

# 目 录

## 前言

## 上篇

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 机床数控技术概论 .....        | 1   |
| 第一节 数控机床的基本概念 .....       | 1   |
| 第二节 数控机床的特点与分类 .....      | 5   |
| 第三节 数控的基本功能 .....         | 7   |
| 第四节 数控技术发展的特点及趋势 .....    | 11  |
| 第二章 数控机床的结构和制造工艺 .....    | 11  |
| 第一节 数控机床的结构特点 .....       | 11  |
| 第二节 数控机床部分机构的制造工艺特点 ..... | 37  |
| 第三节 数控机床的合理设计与开发 .....    | 45  |
| 主要参考文献 .....              | 52  |
| 第三章 数控系统硬件装置简介 .....      | 53  |
| 第一节 数控系统采用微机的类型与特点 .....  | 53  |
| 第二节 几种典型微机及其构成的数控系统 ..... | 55  |
| 第三节 数控系统常用接口 .....        | 76  |
| 第四节 可编程序控制器 .....         | 85  |
| 主要参考文献 .....              | 96  |
| 第四章 机床数控加工控制原理 .....      | 97  |
| 第一节 数控系统的工作过程 .....       | 97  |
| 第二节 运动轨迹插补原理 .....        | 99  |
| 第三节 刀具补偿原理 .....          | 130 |
| 第四节 进给速度的控制 .....         | 143 |
| 主要参考文献 .....              | 152 |
| 第五章 伺服及驱动系统 .....         | 153 |
| 第一节 概述 .....              | 153 |
| 第二节 步进电机及驱动装置 .....       | 154 |
| 第三节 直流伺服与直流驱动系统 .....     | 169 |
| 第四节 交流伺服与主轴驱动系统 .....     | 181 |
| 第五节 数控机床进给驱动系统的设计 .....   | 196 |
| 主要参考文献 .....              | 211 |
| 第六章 数控机床检测单元及信息处理 .....   | 212 |
| 第一节 概述 .....              | 212 |
| 第二节 旋转变压器 .....           | 213 |
| 第三节 光电脉冲编码装置 .....        | 219 |
| 第四节 感应同步器 .....           | 221 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第五节 光栅 .....                  | 230 |
| 第六节 磁栅 .....                  | 237 |
| 主要参考文献 .....                  | 240 |
| 第七章 数控加工程序的编制 .....           | 241 |
| 第一节 概论 .....                  | 241 |
| 第二节 计算机数控自动编程的方法 .....        | 252 |
| 第三节 计算机数控自动编程的软件 .....        | 264 |
| 主要参考文献 .....                  | 278 |
| 第八章 数控系统的可靠性 .....            | 292 |
| 第一节 数控系统的故障类型和分类 .....        | 279 |
| 第二节 数控系统可靠性描述 .....           | 283 |
| 第三节 故障诊断和容错技术 .....           | 288 |
| 第四节 数控系统干扰的抑制与处理 .....        | 294 |
| 第九章 典型数控系统介绍 .....            | 301 |
| 第一节 FANUC数控系统 .....           | 301 |
| 第二节 SIEMENS数控系统 .....         | 330 |
| 第十章 数控机床的投资决策与合理使用 .....      | 350 |
| 第一节 数控机床的经济性分析 .....          | 350 |
| 第二节 数控机床的投资决策 .....           | 352 |
| 第三节 数控机床的合理使用 .....           | 361 |
| 第十一章 普通机床的数控化改造 .....         | 366 |
| 第一节 普通机床能够改造成数控机床 .....       | 366 |
| 第二节 机床数控化改造的一般途径 .....        | 368 |
| 第三节 数控化改造实例 .....             | 372 |
| 主要参考文献 .....                  | 378 |
| <b>下篇</b>                     |     |
| 第十二章 计算机集成制造系统 .....          | 379 |
| 第一节 柔性制造单元 .....              | 379 |
| 第二节 柔性制造系统 .....              | 395 |
| 第三节 CAD/CAM技术和计算机集成制造系统 ..... | 421 |
| 第四节 CIMS/FMS的仿真 .....         | 465 |
| 主要参考文献 .....                  | 475 |

# 上 篇

## 第一章 机床数控技术概论

### 第一节 数控机床的基本概念

#### 一、何谓数控机床

数控技术是指用数字量及字符发出指令并实现控制的技术,简称NC (Numerical Control)。它所控制的一般是位置、角度、速度等机械量,也有温度、压力、流量、颜色等物理量,这些量的大小不仅可用数字表示,而且是可测的。如果一台设备(机床、锻压机械、切割机、绘图机等),实现其自动工作过程的命令是以数字形式来描述的,则称其为数控设备。

数控技术是为了实现机床控制自动化要求而发展的。当机床进行加工时,对加工要求、零件尺寸及其参数、加工步骤等用代码化的数字表示,通过控制介质,输入到控制装置,经过微机进行处理与计算,发出各种控制信号与数据,使机床各坐标的运动自动工作,实现按要求的加工。图1-1是数控装置的基本组成框图。

图1-1中, 1 为被加工物的图纸, 给出了几何数据和工艺数据, 作为NC机床工作的原始依据; 2 为程序编制, 近几年来应用微型机自动编程系统日益普遍, 编程结果用国际标准代码(ISO)规定格式制成穿孔带; 3 为控制介质, 通常用纸带或磁带作为记载指令介质。随着技术的进步, 在CAD/CAM系统中, 经过计算机辅助设计及程序编制, 后置处理后, 直接与

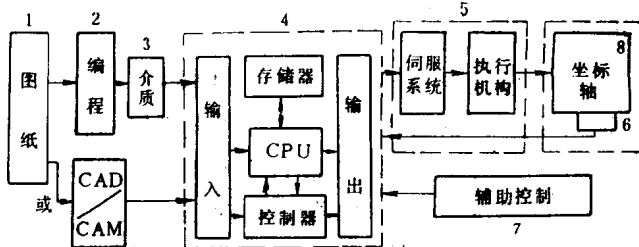


图1-1 数控装置的基本组成框图

NC装置连接, 不需控制介质; 4 为NC系统, 这是数控机床的核心, 由微型计算机组成, 一般来说, 装置中应包括输入输出部件、运算单元、存储单元, 按照规定控制算法进行插补运算, 并将结果经由输出装置送到各坐标控制伺服系统; 5 为伺服系统及执行机构, 包括伺服控制线路、功率放大线路及驱动电机等; 6 为坐标轴或执行机构的测量装置, 前者用以对坐标轴(如工作台)实际位置进行测量, 并反馈到数控系统或伺服系统, 形成全闭环控制, 后者用以对驱动电机轴位置检测并反馈到数控系统或伺服系统, 形成半闭环控制, 若系统不需检测装置则构成开环控制; 7 为辅助控制单元, 用于控制机床其他运动部分的工作, 如主轴起停、刀具交换等辅助机能; 8 为机床各坐标轴本体, 如工作台、主轴箱等。

数控机床是机械加工自动化的核心设备, 不管是柔性加工单元(FMC)、柔性制造系统(FMS), 还是计算机集成制造系统(CIMS), 都是以数控机床为主体, 根据不同的加工要

求、不同对象,由一台或多台数控机床,配以其他辅助设备(如运输小车、机械手、可换工作台、仓库等)而构成的加工群体。如德国沃尔娜(Werner)公司开发的TC630卧式加工中心机床配有刀库、机械手以及运载机构,工作台尺寸为 $630 \times 630\text{mm}$ ,刀库容量为60或72把刀,坐标行程 $x$ 为 $1000\text{mm}$ , $y$ 和 $z$ 均为 $800\text{mm}$ 。可根据需要以4台加工中心为主体,配置运输装置、工件存储设施等组成一套中小型加工用的柔性制造系统。

## 二、数控的分类

数控技术应用已十分广泛,在机床行业和非机床行业中,已逐渐得到普遍应用。数控设备的品种虽然繁多,但从基本原理及主要性能分有如下类型。

### 1. 按被控制对象运动轨迹分

(1) 点位控制系统 此类控制系统,控制机床运动部件的精确位置,即控制刀具与工件的相对位置,对定位过程中的运动轨迹没有严格要求,可以沿一个坐标移动完毕,再沿一个坐标移动,也可以两个坐标同时移动,为了提高效率和保证定位精度,开始时以高速移动,在距终点一定距离时,采用分级降速办法,逐渐趋近定位点。这种控制系统主要用于数控钻床、镗床、冲床、测量机及某些加工中心机床。

(2) 直线控制系统 此类控制系统,控制机床的运动部件,除了点与点之间准确位置外,还需保证其移动轨迹为一直线,而且对位移速度也必须进行控制,以适应不同刀具及工件材料的加工要求。一般说来,在同一时间只控制1个坐标轴移动,但也可控制2个坐标轴以形成 $45^\circ$ 斜线的运动。将点位控制与直线切削控制结合在一起,成为点位/直线控制系统。简单的数控车床、镗铣床及加工中心机床都采用此类系统,这类机床大多具有刀具转位或自动换刀装置,由于采用的刀具长度与半径不同,又希望在更换刀具后不重新编程,因此,这类系统应具有刀具长度与半径的补偿功能以及主轴转速控制功能。

(3) 连续控制系统 连续控制系统又称轮廓控制系统,它能对2个或2个以上坐标轴同时移动的瞬时位置和速度进行严格的控制,并具有主轴速度选择控制功能、传动系统误差(死区、间隙等)补偿功能、刀具半径或长度补偿功能、自动换刀功能等。如图1-2为轮廓加工示意图,其中实线为工件轮廓,虚线为刀具中心轮廓,由于插补原理误差、编程误差以及刀具误差等影响,因而加工后工件尺寸与要求尺寸存在误差。对于由刀具磨损所引起的误差,必须设立刀具补偿功能,这样,当刀具磨损或更换刀具时不需要另行编程,只需通过控制面板置入所需数据,运算装置即可算出所需刀心轨迹。

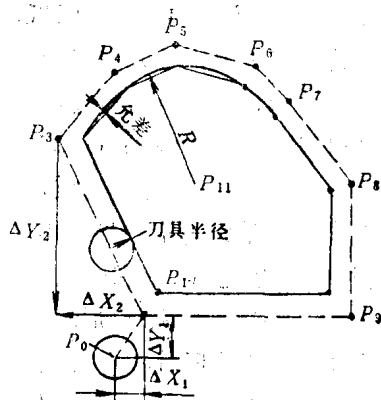


图1-2 轮廓加工示意图

具有连续控制系统的机床,能加工曲面、凸轮、锥度等复杂形状的零件,在铣床、加工中心、能加工曲面的车床、绘图机等上配有此类系统。

### 2. 按执行机构的控制分

由于微型计算机性能/价格比不断提高,数控系统能以足够高的速度与精度进行运算,因此,整个装置的精度与快速性主要取决于执行机构控制系统(或称伺服系统)能以多高的

速度与精度去执行，因此对执行机构控制技术的研究是十分必要的。

(1) 开环控制 这种控制类型通常不带位置测量元件、伺服系统驱动元件一般用步进电机，NC系统发来的每一个进给脉冲，经驱动放大电路放大，并驱动步进电机旋转一个固定的角度（如 $0.75^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 等），再经减速齿轮带动丝杠旋转，最后使工作台移动（如图1-3所示）。很显然，工作台的移动量是与进给脉冲的量成正比的。

这种控制方式对执行机构实际动作情况是不进行检查的，没有被控对象的反馈值，指令发出后不再反馈回来，故称为开环控制。这种控制系统的精度完全取决于步进电机的步距精度以及齿轮、丝杠的传动精度，因此，对传动元件的制造精度和装配质量要求较高。系统的高速性能受电机频率响应特性限制，步进电机在某一段频率范围内低速时，容易共振，需注意消振。由于这类系统结构简单，技术容易掌握，造价低，维护也较容易，因此在数控机床



图1-3 开环控制系统

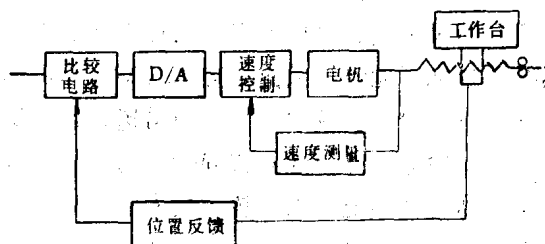


图1-4 闭环控制系统

发展过程中占有重要的地位，特别是在旧机床改造中所占地位更为突出。

(2) 闭环控制 如图1-4为闭环控制示意图，与开环不同，其控制信号是数控装置送来的指令与机床移动部件（如工作台）实际位置反馈信号进行比较所得差值，此差值经转换、放大，对电机进行控制，从而使执行机构按需要移动。这种从指令输入到执行机构运动，再将测得的实际值反馈回来进行比较的闭合回路称位置环。在闭环控制中还引入实际速度与给定速度比较，并通过速度控制电路对电机运转状态随时进行校正的速度环，其目的在于减少因负载等因素变动而引起的进给速度波动，改善位置环的控制品质。由上所述，闭环控制必须具备测量元件，过去一般用测速发电机作为速度测量元件，用同步感应器（或编码器）作为位置测量元件。近年，逐渐用位置环经过变换，实现速度环的作用。

从理论上讲，闭环控制系统的精度，取决于测量元件的精度，但这并不意味着可降低对机床结构与传动装置的要求，由于闭环系统从电机、丝杠到工作台全部包括在控制回路内，传动环节的各种非线性（摩擦特性、刚性、间隙等），都会影响调节参数。这种系统精度高、速度快、现场调试较复杂，严重时会使闭环系统品质下降，甚至引起振荡，因此要求有较高的设计和调试水平。由此，在目前条件下，大型精密镗铣床、精密加工中心机床等才用这种控制方案。

(3) 半闭环控制 半闭环控制系统是将测量元件从工作台移到丝杠端或伺服电机端，因此，这种控制方式对工作台的实际位置不进行检测，其原理如图1-5所示，测量元件与电机端连接，由于丝杠、螺母到工作台不在控制环内，比较容易获得稳定的控制特性，只要测量

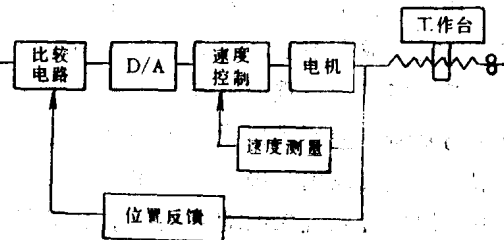


图1-5 半闭环控制系统

元件分辨率高、精度高，并注意丝杠—螺母副的精度，就可获得比开环系统更高的精度和速度。

半闭环控制系统介于开环与闭环之间，精度虽没有闭环高，调试却比闭环方便，因此广泛应用于各类连续控制的数控装置中。

### 3. 按实现数控逻辑功能的构成分

(1) 硬件数控 数控系统的输入、插补运算、控制等功能都应由集成电路组成的逻辑电路来实现，因此针对不同机床的要求，其控制电路也不同，故系统的通用性、灵活性差，这类系统在60年代末70年代初以前应用得比较广泛。

(2) 软件数控 由于计算机技术的发展，特别是微机性能价格比不断提高，应用微机与专用集成芯片组成的NC系统是目前的发展方向，它根据计算机存储器中存储的程序，执行部分或全部数字控制功能，称为计算机数控(CNC)。由于NC的主要功能几乎可用软件来实现，这样，不仅灵活、适应性强，而且硬件通用，便于批量生产；实现硬件和软件模块化，提高系统质量和可靠性。因此，应用微型计算机的计算机数控系统是数控系统的主要发展方向，其功能不断增加，成本下降，应用越来越广泛。

除上述分类外，还有按同时运动坐标轴数分；按数控装置功能的多少分为多功能数控系统和简易数控系统。由于数控技术发展十分迅速，国外数控系统更新换代很快。但在中国的特定环境下，不仅几代产品都生产或使用，而且还开发并生产具有中国特色的廉价数控系统。为了从功能和价格等综合因素考虑，对这些系统加以区分，并避免叙述上的冗赘，近年来也提出了高、中、低档，全功能数控系统和经济型数控系统的分类。但应说明这种分类并非具有严格定义的技术分类法。

## 三、数控技术应用的有关问题

### 1. 数控的适用范围

数控的应用是随着技术的进步而越来越广泛的。不同的数控装置、不同的机械设备，其应用的范围也不同，就机床应用数控的有利范围来说，一般可用图1-6来表示。图中横坐标表示工件复杂程度，纵坐标表示工件批量数，图中表示了通用机床、专用机床、数控机床的适用范围。从一般机械制造概念来讲，数控机床单机一般用于单件和小批量生产，品种多在3~500种，批量多在10~200件。柔性制造设备的加工批量，对于中小型工件来讲，工件年产量在3000~30000件，而对于以大型、重型、超重型数控机床为主机构成的加工中心，以及FMC、FMS，主要用于加工工艺复杂、工时量大、精度高、吊装困难的一些大件，要求一次装卡便能完成全部工序或大部分工序的加工，这样的工件，用一般机床加工，工时高达数百、上千，所以对于重型机床，特别是超重型机床为主机构成的数控设备，主要是以加工工件数量为基础，而不是以批量为基础。近几年，随着NC机床性能价格比迅速提高，特别是经济型数控系统应用范围扩展，许多通用和专用机床也逐渐数控化，而且发展迅速。

用户使用数控机床的动机是为了提高产品质量及其稳定性，提高自动化程度和省力化程度，适应被切削材料变化、加工复杂形状零件、缩短生产周期、降低成本的需要。据统计，

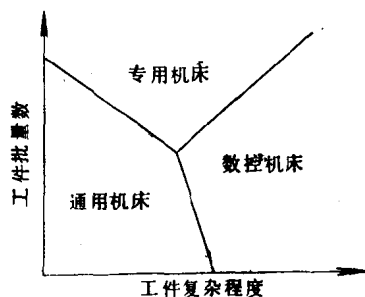


图1-6 NC机床的适用范围

用户对NC机床各项指标要求如图1-7所示,从图中可知,精度、价格、自动化及可靠性是大多数厂家所关心的问题。

## 2. 数控的精度

数控的精度指的是定位精度、重复精度、分辨能力以及加工精度。定位精度指的是对距所要求的定位位置有多大偏差距离(如图1-8所示),是用相对于所要求的定位位置偏离 $\pm n$ 个微米来表示的。

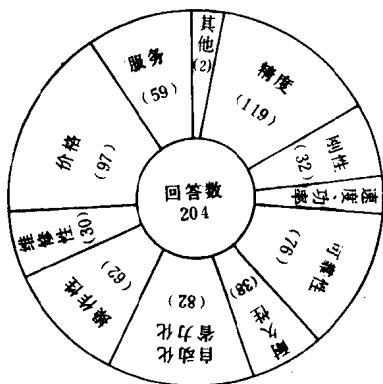


图1-7 用户对NC机床各项指标要求

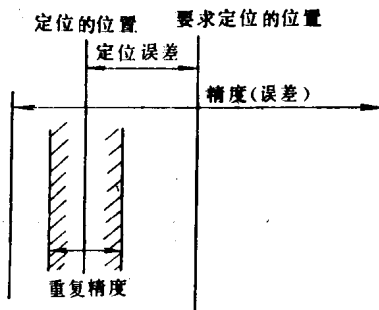


图1-8 数控的定位精度与重复精度

重复精度指的是重复定位时,实际位置落在某一定范围内的精度,其离散度用平均值的 $\pm n$ 个微米来表示。

分辨能力指的是定位机构中的最小位置检测量。

数控机床加工精度主要是由系统精度、数控伺服精度、机床精度三者累积而成的。系统精度是指送到伺服系统的实际指令值,指令值的精度取决于数控系统插补算法不同而产生的误差值;伺服精度是指伺服系统的精度;机床精度是指由于机床力变形及热变形所引起的各类误差。

## 第二节 数控机床的特点与分类

### 一、数控机床的特点

数控机床以其适应性强、加工质量稳定、效率高、精度高等特点在机械加工中得到广泛应用。其主要特点如下:

(1) 保持加工零件精度,提高其质量稳定度 数控加工的切削量、进给速度、主轴转速、使用刀具等加工所需条件、参数都可根据工艺要求,预先编程予以规定,加工过程可避免人为的干扰因素,若引入自适应控制功能,则不仅可保持加工条件不变,而且可达到最优化,这样大大提高了同一批零件加工一致性,同时可以利用软件进行误差补偿,以获得更高的加工精度和重复精度。

(2) 能加工形状复杂的零件 采用二轴以上联动的数控机床,可以加工母线为曲线的旋转体、凸轮、各种复杂空间曲面的零件,能完成普通机床难以完成的加工。

(3)提高生产率 数控加工时,由于所用夹具的标准化,减少了夹具的需要量,使工艺准备时间缩短;由于预先编好了加工程序,减少了加工过程中的停机时间,缩短了整个加工时间;由于有较高的重复精度与一致性,可以节省检验时间;当加工零件改变时,只需改变程序,节省了准备与调整时间;由于提高了与基准面相关尺寸的加工精度,从而提高了装配的效率。这些都有效地提高了生产率,与普通机床相比可提高2~3倍。如果使用自动换刀的数控加工中心机床,可进行多道工序的连续加工,缩短了半成品的周转时间,生产率可提高十几倍至几十倍。

(4)减轻劳动强度,减少操作失误,降低废品、次品。

(5)提高生产管理水平 用数控机床加工,能准确计算零件加工时间,加强了零件周转计划性,可以实行优化调度,简化和减少了检验、工夹具准备、半成品调度等管理工作,这些都有利于管理水平的提高。

(6)有利于机械加工综合自动化发展 数控机床是机械加工自动化的基本设备,FMC、FMS、CIMS等综合自动化系统都必须用数控机床组成,由于数控机床控制系统具有通讯接口,适于计算机之间联接,组成工业局部网络,应用制造自动化协议(MAP)规范,实现生产过程的计算机管理与控制。

## 二、数控机床的分类

数控机床是一种自动化程度高的机床,技术难度大,价格也较高,要求操作、维修人员具有较高的技术水平,因此在我国现阶段仍然多用于精度高、形状复杂的中小批量零件加工。显然,随着微电子技术的发展,数控系统功能不断提高,体积不断缩小,价格不断下降,数控机床比例不断上升,数控机床种类越来越多,应用范围必将越来越广泛。目前用得较普遍的数控机床可归纳如表1-1所示。

表1-1 数控机床的种类和用途

| 种 类               | 数控装置功能分类             | 主 要 用 途                                                | 工 件 举 例                  |
|-------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| 车<br>床            | 点位、直线控制              | 车削没有锥度、圆弧的轴                                            | 轴                        |
|                   | 轮廓控制                 | 车削有锥度、圆弧的轴                                             | 轴                        |
| 加 心<br>工 机<br>中 床 | 点位、直线控制              | 一次装卡后进行钻孔、绞孔、攻丝、铣削、镗孔加工                                | 一般行业使用的齿轮箱框架             |
|                   | 轮廓控制                 | 除上述加工内容外,加入轮廓铣削                                        | 加工飞机部件及复杂型面              |
| 数控钻床              | 点位控制                 | 用于加工孔系                                                 | 印刷电路板、多孔零件               |
| 铣 床               | 点位、直线控制              | a.用同一刀具进行多道工序的直线切削,而且需进行大余量切削的工件<br>b.用同一刀具又有定位精度要求的工件 | 原材料是方料,加工时要求保证长、宽、高尺寸的工件 |
|                   | 轮廓控制                 | 平面轮廓的加工、立体曲面形状的铣削                                      | 凸轮、样板、冲模、压模、铸模等          |
| 镗 床               | 点位、直线控制              | 以控制定位为主的各种镗削加工                                         | 箱体件                      |
| 磨 床               | 轮廓控制                 | 凸轮、轧辊和其他成型磨削                                           | 定时凸轮、平面凸轮、轧辊、阳冲模         |
| 数控特殊<br>加工机床      | 点位控制,点位、直线控制,轮廓控制,其他 | 中小批量且每月都有一定的重复批量的特殊加工                                  | 需要多坐标机床加工的叶片             |

### 第三节 数控的基本功能

技术的进步、生产的要求使数控系统功能不断扩大,学习、掌握其基本功能,弄清其主要意义,对于从事数控技术开发、应用的人员是十分重要的。

对NC功能进行正确的分类,有待进一步研究,为方便掌握起见,特分为几大类予以介绍。

#### 一、控制功能

##### 1. 控制轴数和联动轴数

这种功能是表示数控装置对机床运动部分的控制能力。当机床需要对X、Y、Z三个坐标轴进行控制时,则其控制系统称之为具有三控制轴的NC系统;当机床需对X、Y、Z、A、B、C进行控制时,则与之相应的控制系统称为六控制轴的NC系统。当机床对其坐标轴运动具有按某一规定规律同时协调运动要求时,其相关坐标轴称为联动轴,控制装置应能满足。例如要求加工圆弧平面时,则需二轴联动。

控制轴数与联动轴数是设计与选购数控系统时,根据控制对象要求首先应决定的基本数据。例如三轴联动、五轴控制的系统,是指该系统具有对五个坐标(如X、Y、Z、A、B)的运动进行控制,其中三轴可进行联动的控制功能。显然联动轴数可在五个坐标中任意选择或者固定(如X、Y、Z),前者使系统控制复杂,后者稍为简单、合理、是比较常用的方法。

##### 2. 插补功能

我们要求各坐标轴的运动轨迹按照所要求的线段进行,例如当描写一段圆弧时,可以有多种方法来逼近,我们希望选择能实现误差最小、速度又较快的逼近方式。因此,所谓插补就是沿着规定线段的起点、终点之间,按照一定的算法进行数据点的密化工作,并将其分解成相关坐标轴的移动量。插补一般有直线插补、圆弧插补、高次曲线插补等,能完成上述功能的电路称为插补器。目前,插补器大多用计算机来实现。

在标准系统中,直线插补用G01指令,圆弧插补用G02、G03指令来实现 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ (或 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ )范围内的任意圆弧切削,G02是顺时针旋转(CW),G03是逆时针旋转(CCW)。在三轴联动系统中,当二轴圆弧插补与另一轴直线插补时,这时刀具作螺旋状运动,可以加工大直径螺纹或立体凸轮。

##### 3. 定位控制

定位控制是指控制运动部分的位置与实际位置的一致性。在标准系统中用G00指令以进行快速定位,从起始点开始,各轴都以快速运行,在终点减速停止,同时进行位置精度校验。为提高定位精度,还可用另一指令G60,使机床总是从某一预定方向向指令点定位。

##### 4. 自动加(减)速控制功能

机械设备状态改变时(如加速、减速、停止、起动等)易产生冲击,为避免或减少冲击,控制系统具有自动进行平滑的加(减)速功能。加(减)速可以针对每一移动指令按直线或指数曲线方式进行,一般情况为快速进给使用直线型加速,切削进给使用指数曲线型加(减)速,微动进给和空运转也使用指数曲线型加(减)速。时间常数可由参数设定,斜率与进给速

度的快慢无关。

### 5. 进给功能

进给功能是指定刀具对工件的进给（进给速度或进给量）的功能，用代码 F 与接在它后面的代码化的数来表示。

进给速度是指刀具向工件进给的相对速度，单位为 mm/min 或 mm/s。在控制带上，把指定的数字紧接在字符 F 的后面。

进给功能表示形式之一为进给速率数 (FRN)，它表示进给速度的代码化数，用跟在地址符 F 后面的数字来表示。

$$FRN = \text{常数} \times \frac{\text{进给速度}}{\text{进给速度所在程序段位移}}$$

若进给速度为 110 mm/min，位移距离为 20 mm，常数为 100，则 FRN 为 550。

对于进给速度，还应具有修调功能，用数控装置上的拨盘来进行。切削进给一般可修调 0~200% (10% 间隔)。

## 二、程序的输入、输出和存储功能

程序包括各种设定数据、参数、命令等，它们可通过各种输入、输出设备进行输入或输出，也可通过存储器予以存储。

### 1. 最小设定单位

最小设定单位是指由控制带或手动输入数据对数据系统内一个脉冲当量的规定值，并规定是公制还是英制，例如是 0.001 mm、0.0001 in 或 0.001°，有时需要把轴移动的数值乘大以 10 倍，这时，最小设定单位也同样扩大 10 倍。

### 2. 最小移动单位

最小移动单位是指一个与指令对应输出脉冲的移动当量，由输出电路和测量元件所决定。在理想情况下，机床的最小位移与输入脉冲当量一致。

### 3. 控制带格式

控制带格式是指输入到数控系统的程序的文字和数据的排列格式，例如：N1276 G01 X+2800 Y+23500 F1102 S1020 T14 M06 若写成一般格式则为：

N4 G2 X+23 Y+23 F4 S4 T2 M2

其意义为：

N——控制纸带上程序段（或程序段的相对位置）的序号，用文字 N 和它后面的数来表示，如 N4 表示地址后面有 4 位数；

G——准备功能，指定控制动作的功能，用 G 和它后面的 2 位数来指定，例如直线插补、圆弧插补、加（减）速、定位等；

X+23、Y+23——指坐标轴（X、Y、Z）方向移动距离，用 X、Y 表示坐标轴，+、- 表示方向，数字 2 代表小数点以上 2 位，3 代表小数点以下 3 位；

F4——进给功能，指定进给速度的功能，用 F 和后面的代码化数来表示；

S4——指定主轴转速的功能，转速的单位为 r/min，用 S 和后面的代码化数来表示，一般用 S 后面 4 位数表示 S 功能；

T2——指定刀具的功能，用 T 及其后面的代码化数来表示，一般用 2~4 位数表示；

M2——辅助功能，数控机床具有的辅助性开关功能，它是用 M 和后面的数来指定的，如

M00为程序停止、M01为任选停止、M02为程序结束、M98为子程序调出、M99为子程序结束等。M代码有两种类型：一类为经译码后并能送往机床；另一类只在数控装置内部处理，不必送往机床（如M98、M99）。

#### 4. 输入输出装置

在数控系统中，程序的输入输出装置有以下几种：

(1) 手动数据输入(MDI) 通过操作控制面板上的字母、数字键，将程序输入到数控系统。

(2) 视频显示器(CRT) 它可显示文字、字符、图形和数字，用以表示诸如各个坐标系中瞬时位置，正在执行或正在编辑的程序、顺序号，设定数据（如刀具偏置量等）、伺服状态等。它也可通过键盘输入信息，将字符、图形快速显示在荧光屏上，还可根据需要进行删改、编辑，是人机对话的有效工具。

(3) 通用显示器(DPL) 它是通常由7段显示器或16段显示器组成的字符显示装置，可以显示NC指令，也可以显示坐标值、参数值和诊断结果等。

MDI、CRT、DPL单元能够安装在数控装置里，也可安装在被控制的机械上。

(4) 读带机 它是一种将控制带上的信息读入数控系统的装置，可分为无带盘读带机及有带盘读带机，其阅读方式为光电式，阅读速度一般为300字符/秒(60Hz)、250字符/秒(50Hz)，纸带箱容量是30m。有带盘读带机其带盘直径是180mm，能容纳150m。

(5) 输入输出接口 现代的数控系统，一般应具有RS-232C或RS-422通讯接口，以便与外部设备进行通讯。

### 三、编程功能

#### 1. APT语言

这是一种对工件、刀具的几何形状及刀具相对工件的运动进行定义时所用的、接近于英语的符号语言，用此语言编写的零件程序输给计算机，就能自动地制作出控制带，它是数控加工用软件的一种代表性语言。

#### 2. 程序结构

程序分成主程序和子程序，通常数控系统是按主程序工作，由主程序调出子程序或使之返回。数控装置的程序存储器中能存储一定数量的主程序和子程序（如FANUC System 9为280个程序、FANUC System 6为181个程序）。

#### 3. 固定循环和子程序

固定循环是指将具有多次反复动作加工的过程（如镗、钻、攻丝等）编成一连串的顺序程序，用G代码来代表，如G73代表深孔钻循环、G84代表攻丝循环，当读到此代码时，系统能自动循环工作，称之为固定循环。

在程序中，如果把某些固定的顺序或反复出现的图形编制成子程序，预先存入存储器中，子程序可以在纸带工作方式时调用，调出的子程序还能够用另外的子程序（子程序嵌套）。

#### 4. 控制带记忆和编辑功能

这是指：可通过控制带、MDI或CRT把主程序、子程序和用户宏功能主体记忆到存储器中去，断电后不会受到破坏，再次通电时，可再次调用；能够编辑（更改、删除、插入）记忆在存储器中的各类程序，必要时能够通过手动输入方式重新写入新的程序。

存储器容量是以换算成控制带的长度计算，不同的系统可以有限度地选择，如FANUC