



职业技能训练用书

SHUKONG XIGONG

# 数控铣工

(高级)

何宏伟○主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



## 职业技能训练用书

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 1 铣工 (初级)   | 13 车工 (初级)    |
| 2 铣工 (中级)   | 14 车工 (中级)    |
| 3 铣工 (高级)   | 15 车工 (高级)    |
| 4 维修电工 (初级) | 16 数控铣工 (中级)  |
| 5 维修电工 (中级) | 17 数控铣工 (高级)  |
| 6 维修电工 (高级) | 18 数控车工 (中级)  |
| 7 焊工 (初级)   | 19 数控车工 (高级)  |
| 8 焊工 (中级)   | 20 中式面点师 (初级) |
| 9 焊工 (高级)   | 21 中式面点师 (中级) |
| 10 钳工 (初级)  | 22 中式面点师 (高级) |
| 11 钳工 (中级)  | 23 中式烹调师 (初级) |
| 12 钳工 (高级)  | 24 中式烹调师 (中级) |
|             | 25 中式烹调师 (高级) |

上架指导：工业技术 / 机械工程 / 机械加工

ISBN 978-7-111-34416-2



9 787111 344162 >

ISBN 978-7-111-34416-2

定价：19.00元

◎ 封面设计\电脑制作：陈沛

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版



# 数控铣工

(高级)

主 编 何宏伟

副主编 朱立新 王志广 王 建

参 编 陈俊超 李玉荣 张 辰 吴魁魁

参 编 闫伟强 伊洪斌

主 审 王 岩

参 审 朱丽军

本书是高级数控铣工的技能训练用书。本书的主要内容包括：数控加工概述、数控加工工艺基础、数控铣削加工编程、数控仿真加工、平面类零件的编程与加工、孔类零件的编程与加工、数控铣削加工高级编程。

本书可作为技术工人的参考用书，也可作为中职、高职及技工院校数控铣专业师生的教学参考用书。

## 图书在版编目（CIP）数据

数控铣工：高级/何宏伟主编. —北京：机械工业出版社，2011.7  
职业技能训练用书  
ISBN 978-7-111-34416-2

I. ①数… II. ①何… III. ①数控机床：铣床-技术培训-教材 IV.  
①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 078967 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）  
策划编辑：朱 华 责任编辑：邓振飞 版式设计：霍永明  
责任校对：闫玥红 版式设计：陈 沛 责任印制：杨 曦  
北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 8.75 印张 · 212 千字  
0001-3000 册  
标准书号：ISBN 978-7-111-34416-2  
定价：19.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

教材的质量直接影响着高技能型人才培养的质量。目前,能够突出技能培养的教材非常匮乏,多数内容陈旧,并且有相当一部分内容与新的国家职业标准不对应,广大培训机构和读者迫切需要一套既与新的国家职业标准对接又适合于技能培训的教材。

专业基本技能训练数控铣工(高级),是以人力资源和社会保障部颁布的国家职业标准为依据,以客观反映现阶段本职业本等级功能水平和对从业人员的要求为目标,在充分考虑和谐社会经济发展和产业结构多元化对本职业影响的基础上编写而成的,重点突出从业人员技能复合、动手能力和技能技巧的培养。

本教材的编写特色是:

1) 以职业能力建设为核心,在职业分析、专项能力构成分析的基础上,把职业岗位对人才的素质要求理论化,即将技能和知识进行重新整合,更加注重技能的培养。

2) 内容上涵盖国家职业标准对数控铣工(高级)技能培养的要求,注重社会发展和就业需求,从而实现对学员实际操作技能的训练与职业能力的培养。

3) 以模块和项目形式构架训练体系。一个模块包含若干个项目,一个项目就是一个知识点,重点突出,主题鲜明。

4) 以项目训练为基础,从提出训练目的和要求开始,设定训练内容,突出工艺要领和操作技能的培养。

本教材可作为数控铣工的参考用书,也可作为高等职业院校、中等职业院校、技工院校技能培训用教材,还可作为就业和再就业、SYB(创业培训)以及农民工培训用书。

本教材由何宏伟任主编,朱立新、王志广、王建任副主编,陈俊超、李玉荣、张辰、吴魁魁、闫伟强、伊洪斌参加编写,王岩主审,朱丽军参审。

本教材在编写过程中,得到有关省市劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院、高级技校的大力支持,教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作,在此我们表示衷心的感谢!同时,恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议,以便修订时加以完善和补充。

编 者

# 目 录

## 前言

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>模块一 数控加工概述</b> .....      | 1   |
| 项目一 数控技术的基本原理 .....          | 1   |
| 项目二 数控机床的机械系统 .....          | 4   |
| 项目三 数控系统 .....               | 7   |
| <b>模块二 数控加工工艺基础</b> .....    | 13  |
| 项目一 数控机床加工工艺概念 .....         | 13  |
| 项目二 数控铣削用量的确定 .....          | 19  |
| <b>模块三 数控铣削加工编程</b> .....    | 24  |
| 项目一 数控铣削加工编程基础 .....         | 24  |
| 项目二 数控铣削加工基本编程指令 .....       | 28  |
| <b>模块四 数控仿真加工</b> .....      | 35  |
| 项目一 数控仿真界面介绍 .....           | 35  |
| 项目二 VERICUT 数控铣床仿真应用 .....   | 49  |
| <b>模块五 平面类零件的编程与加工</b> ..... | 63  |
| 项目一 平面铣削加工 .....             | 63  |
| 项目二 轮廓类零件的编程与加工 .....        | 76  |
| <b>模块六 孔类零件的编程与加工</b> .....  | 91  |
| 项目一 钻孔加工 .....               | 91  |
| 项目二 镗孔加工 .....               | 101 |
| 项目三 攻螺纹 .....                | 110 |
| <b>模块七 数控铣削加工高级编程</b> .....  | 116 |
| 项目一 简化编程 .....               | 116 |
| 项目二 变量编程加工 .....             | 124 |
| <b>参考文献</b> .....            | 134 |

# 数控加工概述

随着现代科学技术和社会不断的发展,对机械加工业提出了越来越高的要求,如产品的更新换代频繁、产品质量要求较高、产品成本降低等。为了保证上述要求,机床不仅应具有较好的通用性和灵活性,而且要求加工过程实现自动化、智能化。数控机床就是在这种情况下发展起来的一种适用于精度高、零件形状复杂的单件、小批量生产的自动化机床。

## 项目一 数控技术的基本原理

### 【学习目标】

- (1) 掌握数控基本概念
- (2) 了解数控机床的组成部件
- (3) 了解数控机床的发展方向

### 一、数字控制的基本概念

数字控制 (Numerical Control, NC) 技术是一种自动控制技术,用数字化信号对机械设备的运动及其加工过程进行可编程的自动控制的一种方法。数控控制的对象是多种多样的,但数控机床是最早应用数控技术的控制对象,因此现在人们通常所讲的“数控”就是指“数控机床”。

数控机床是采用了数控技术的机床,或是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟 (International Federation for Information Processing, IFIP) 第五技术委员会,对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床,该系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。定义中的程序控制系统,就是数控系统 (Numerical Control System)。数控系统是一种控制系统,数控系统能逻辑地处理输入到系统中具有特定功能代码的程序,并将其编译,从而使机床运动并加工零件的程序控制系统。

最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已经逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统 (Computer Numerical Control, CNC),即采用计算机实现数字程序控制的技术。由于计算机可以完全用软件来控制数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,大大提高数字控制系统的性能。

现代的数控系统通常是一台带有专用系统软件的微型计算机,其主要由显示器、操作面板、伺服系统、各种开关和传感器构成。现在国内市场上流行和企业普遍使用的国产数控系



统有华中数控（HNC）、广州数控（GSK）、凯恩帝（KND）、帝特玛（DTM）、航天数控（CASNUC）、辽宁蓝天数控（LT-CNC）、南京华兴数控（WASHING）和大连的大森数控（DASEN）等。国外数控系统有日本的发那科（FANUC）、日本的三菱（MITSUBISHI）、德国的西门子（SIEMENS）、法国纽姆（NUM）、西班牙的凡高（FAGOR）等。

## 二、数控机床的组成

数控机床一般由信息载体、数控系统、伺服系统和机床本体四部分组成。

### 1. 信息载体

信息载体又称为控制介质，用于记录数控机床上加工一个零件所必需的各种信息，如零件加工位置的数据、工艺参数、主轴的控制数据和切削液的开关数据等。信息载体包括穿孔纸带、盒式磁盘和软磁盘等。

### 2. 数控系统

数控系统是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，通过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令来控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

### 3. 伺服系统

伺服系统主要完成机床的运动及运动控制（包括进给运动、主轴运动、位置控制等），它由伺服驱动电路和伺服电动机组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它接受来自数控装置的位置控制信息，将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确的定位运动，驱动机床执行机构运动，由于它是数控机床的最后控制环节，其性能将直接影响数控机床的生产效率、加工精度和表面加工质量。

### 4. 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似，都是由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成的。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面却有了很大的变化，这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

## 三、数控技术的产生和发展

### 1. 数控铣床的产生

1948年，美国帕森斯公司（Parsons）受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备，由于样板形状复杂，精度要求较高，一般设备难以加工出满足要求的样板，于是帕森斯公司便提出了采用计算机控制机床的设想。1949年美国帕森斯公司与美国麻省理工学院（MIT）合作，开始研制由计算机控制的机床，并于1952年在一台大型立式仿形铣床上成功改装试制成第一台三坐标数控铣床。1955年，该类机床进入了实用化阶段，在复杂曲面的加工中发挥了重要的作用。

我国于1958年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床，并经过了近20年的发展，基本上掌握了关键技术，建立了数控设备的开发、生产基地，培养了一批数控人才，初步形成了自己的数控产业。

## 2. 数控技术的发展

数控机床及数控系统目前大致朝以下几个方面发展:

(1) 高速度化、高精度化 高速度化、高精度化是先进制造技术的关键性指标。高速、高精加工技术可极大地提高生产效率和产品的质量,缩短生产周期和提高市场竞争能力。例如在航天航空工业领域,其加工的零件部件多为薄壁和薄筋,刚度很差,且材料多为铝或铝合金,只有在高速切削和切削力很小的情况下,才能对这些壁、筋进行加工。这些都对加工设备提出了高速、高精和高柔性的要求。

提高微处理器的处理位数和处理速度是提高 CNC 速度的有效手段,采用带有高分辨力检测元件的数字伺服系统以及高速内装式电动机,在刀具材料和刀具结构不断发展的支持下,切削速度不断提高,高速加工中心进给速度可达  $100\text{m}/\text{min}$  左右,主轴转速已达  $60000\text{r}/\text{min}$ 。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减少数控系统的误差和采用插补技术来达到的。在减小 CNC 系统控制误差方面,一般采取提高数控系统的分辨力,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单元精细化。从 1950 年至 2000 年的 50 年内数控设备的加工精度提升了 100 倍左右。当前普通级数控机床的加工精度已由  $10\mu\text{m}$  提高到  $5\mu\text{m}$ ,精密级加工中心则从  $3\sim 5\mu\text{m}$  提高到  $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ,超精密级加工精度以开始进入了纳米级 ( $0.01\mu\text{m}$ )。

在可靠性方面,由于数控设备比较昂贵,用户期望发挥投资效益,要求设备可靠。特别是对要用在长时间无人操作环境下运行的数控设备,可靠性成为人们最为关注的问题。如果要求在 16h 内连续正常工作,无故障率在 99% 以上,则数控机床的平均无故障运行时间 MTBF 就必须大于 3000h。当前国外数控设备的 MTBF 值已达 6000h 以上,伺服系统的 MTBF 达到 30000h 以上,具有非常高的可靠性。

(2) 智能化 随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,智能化成为 21 世纪制造技术发展的一个大方向。智能化技术主要体现在以下几个方面:

1) 自适应控制。自适应控制系统 (Adaptive Control, AC) 是 20 世纪 60 年代末发展起来的高精度、高效益的数控系统。通常数控机床是按照预先编好的程序对机床进行控制的,但随机因素较多,如毛坯的余量和硬度的不均匀、刀具的磨损等难以预测等。为了确保加工质量,势必在编程时采用较为保守的切削用量,从而降低了加工效率。AC 系统可对机床主轴的转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数进行自动测量,并由 CPU 进行比较运算后发出修改主轴转速和进给速度的信号,确保 AC 处于最佳的切削状态,从而在保证质量的条件下使加工成本最低或生产效率最高。

2) 人机会话自动编程功能。指定切削用量数据库和示教系统,从而提高编程效率和降低对编程人员的技术水平的要求。

3) 自动诊断。数控系统出现故障时,能够进行自动诊断,并可以自动采取排除故障的措施,以适应在长时间无人操作的情况。

4) 识别技术。应用图像识别和声控技术,使系统自己辨认图像,按照自然语音命令进行加工。

(3) 小型化 随着数控技术的飞速发展,对数控系统提出了小型化的要求,使系统便于将机、电装置“糅合”成一体。日本新开发的 FS16 和 FS18 都采用了三维安装方法,将电子元件高密度地安装在设备中,大大缩小了系统占用的空间,使数控系统小型化,这样可

方便地将它们装到机械设备上。

(4) 多轴化 电机和主轴一体化的电主轴的出现,大为简化了能实现5轴联动加工的复合主轴头结构,大幅度降低了其制造难度和成本,缩小了数控系统的价格差距,因此促进了复合主轴头类型5轴联动机床和复合加工机床的发展。例如采用5轴联动数控机床对三维曲面零件的加工,可用刀具最佳几何形状进行切削,不仅可以获得高的表面质量,而且也可大幅度提高加工效率。一般认为,1台5轴联动机床的效率可以等于2台3轴联动机床。

(5) 网络化 数控系统的网络化主要是指数控系统与外部的其他控制系统或上一级计算机进行网络连接和网络控制。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求。数控系统的网络化进一步促进了柔性自动化制造技术的发展,现代柔性制造系统从点(数控单机、加工中心)、线(FMC、FMS、FTL、FML)向面(工段车间独立制造岛、FA)、体(CIMS、分步式网络集成制造系统)的方向发展。

(6) 开放式 传统的数控系统是一种专用封闭式系统,各个厂家的数控系统与通用计算机之间不兼容,从而维修、升级困难,越来越难以满足市场对数控技术的要求。针对这种情况,人们提出了开放式数控系统的概念,所谓开放式数控系统就是可以大量采用通用微机技术,在统一的运动平台上,数控系统制造商和用户可以根据这些开放的资源进行改变、增加或删除数控功能,并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,并可以较容易地实现智能化、网络化。

## 项目二 数控机床的机械系统

### 【学习目标】

- (1) 了解数控机床主传动的结构
- (2) 了解数控机床进给系统
- (3) 了解数控机床导轨类型

数控机床的机械系统是指数控机床的主体部分,包括主传动系统、进给传动系统及导轨系统等。此外,还有冷却、润滑、排屑、夹紧等辅助装置,数控铣床的外观如图1-1所示。

### 一、主传动系统

数控机床的主传动系统主要是指数控机床主轴部件,它是机床的执行元件。主轴部件主要由主轴、轴承、传动件、密封件和刀具自动夹紧机构等组成。

#### 1. 主轴

主轴为空心机构,下部有锥度为7:24的锥孔,用于装夹BT40的刀柄。主轴端面带有一个平键,安装刀柄时与刀柄上的

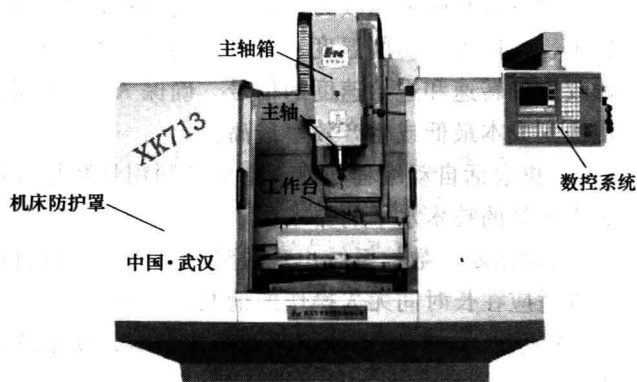


图1-1 数控铣床

键槽进行配合使用，起到增加转矩和刀具的圆周向准确定位的作用。

(1) 数控机床对主轴的要求

1) 较宽的变速范围。为适应各种工序和不同材料的加工要求，数控机床主传动要有较宽的调速范围并尽可能实现无级变速，且要求在整个速度范围内均能提供切削所需的功率和转矩。

2) 较高的回转精度。为提高主轴的回转精度应减少传动链，提高主轴部件的刚度和抗振性、热稳定性，变速时间应短，调速运转平稳，应能对主轴负载进行检测和控制，有过载报警功能。

3) 主轴控制功能。要求主轴能与其他进给轴同时实现联动控制，如在加工螺纹时，主轴的转速与直线坐标轴进给速度之间应保持一定的联动关系。

4) 具有主轴准停功能。在加工中心上自动换刀时或执行某个特定加工动作时，要求主轴需停在一个固定不变的方位上，这就需要主轴有高精度的准停控制功能。

(2) 主轴的调速 主轴的调速电动机主要分为直流电动机和交流电动机两大类。直流电动机的调速原理是通过改变电枢电压（降压调速）或改变励磁电流（弱磁调速）的方法实现无级变速的，其中降压调速可获得恒定的转矩，弱磁调速可获得恒定的功率。交流电动机目前广泛采用矢量控制的变频调速方法，变频器应同时有调频兼调压的功能以适应负载特性的要求。

2. 刀具自动夹紧机构

为实现刀具在主轴上能够自动松开和夹紧刀具的功能，主轴必须带有刀具自动夹紧装置、主轴准停装置和主轴孔的清理装置等结构。

刀具的自动夹紧机构安装在主轴的内部，图 1-2 所示为刀具的夹紧状态。刀柄 1 由主轴抓刀爪 2 夹持，碟形弹簧 5 通过拉杆 4、抓刀爪 2，在内套 3 的作用下将刀柄的拉钉拉紧，当换刀时，要求松开刀柄。此时向主轴上端气缸的上腔通入压缩空气，活塞 7 带动压杆 8 及拉杆 4 向下移动。同时压缩碟形弹簧 5，当拉杆 4 下移到使抓刀爪 2 的下端移出内套 3 时，卡爪张开，同时拉杆 4 将刀柄顶松，刀具即可由机械手或刀库拔出。待新刀装入后，气缸 6 的下腔通入压缩空气，在碟形弹簧 5 的作用下，活塞带动抓刀爪 2 上移，抓刀爪拉杆 4 重新进入内套 3，将刀柄拉紧。活塞 7 移动的两个极限位置分别设有行程开关 10，作为刀具夹紧和松开的信号。

刀杆尾部的拉紧机构，除上述的卡爪式外，常见的还有钢球拉紧机构，其内部结构如图 1-3 所示。

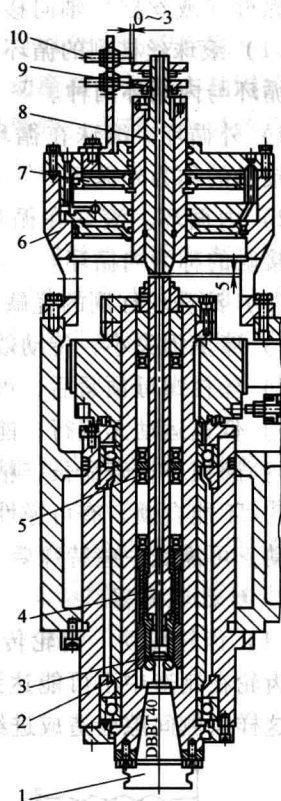


图 1-2 刀具自动夹紧装置  
1—刀柄 2—抓刀爪 3—内套  
4—拉杆 5—碟形弹簧 6—气缸  
7—活塞 8—压杆 9—撞块 10—行程开关

二、进给传动系统

工作台的移动是通过进给传动装置带动的。进给传动是

指把电动机的旋转运动转变为工作台的直线运动的装置。为确保数控机床进给系统的传动精度和工作台的平稳性,对机械传动装置提出了明确的要求,包括减小摩擦阻力、减小运动惯量、提高传动精度与定位精度、加大进给调速范围、减小传动间隙、提高响应速度和稳定性、延长使用寿命、方便使用维护。

为了满足以上要求,数控机床一般采用低摩擦的传动副,如采用滚珠丝杠螺母副、滚动导轨、静压导轨等。

### 1. 滚珠丝杠螺母副

滚珠丝杠副如图 1-4 所示,它是一种在丝杠与螺母间装有滚珠作为中间传动元件的丝杠副,是将回转运动转换成直线运动的传动装置。当丝杠旋转时,滚珠在滚道内既自转又沿滚道循环转动,因而迫使螺母(或丝杠)轴向移动。

(1) 滚珠丝杠副的循环方式 常用的循环方式有外循环与内循环两种。

1) 外循环。滚珠在循环的过程中有时与丝杠脱离接触的称为外循环。

2) 内循环。滚珠在循环过程中,始终与丝杠保持接触的称为内循环。

### (2) 滚珠丝杠副的优缺点

- 1) 摩擦损失小,传动效率高。
- 2) 丝杠螺母预紧后,可以完全消除间隙,传动精度高,刚度好。
- 3) 低速运动无爬行,能够保证运动的平稳性。
- 4) 磨损小,寿命长,精度保持性好。
- 5) 不能自锁,有可逆性,既能将旋转运动转变成直线运动,也能将直线运动转变成旋转运动,可满足一些特殊要求的传动场合。当立式使用时,应增加平衡或制动装置。

### 2. 丝杠联轴器

(1) 齿轮传动 齿轮传动是利用齿轮传动副来实现降低速比的要求,如图 1-5 所示。由于齿轮在制造中不可能达到理想齿面的要求,传动时需存在一定的齿侧间隙才能正常工作,这样齿侧间隙会造成进给系统的反向失动量,影响系统的稳定性。

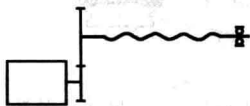


图 1-5 齿轮传动



图 1-6 同步带轮传动



图 1-7 联轴器直接传动

(2) 同步带轮传动 同步带轮传动的机械结构比较简单,如图 1-6 所示。同步带传动综合了带传动和链传动的优点,可以避免齿轮传动时引起的振动和噪声,但只能适用于低转

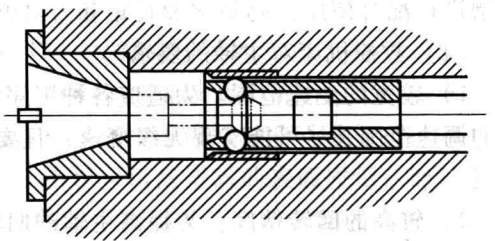


图 1-3 钢球拉紧机构

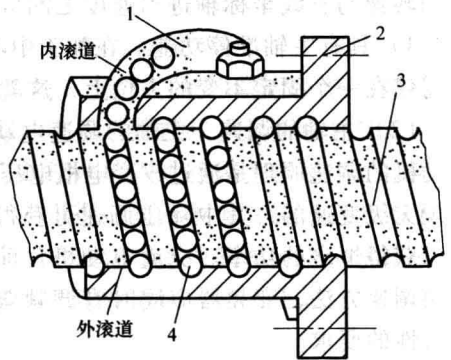


图 1-4 滚珠丝杠副

矩特性要求的场合。

(3) 联轴器直接传动 在精度要求较高的数控机床,如加工中心、车铣复合等的进给运动中,常采用联轴器直接传动。如图 1-7 所示,此结构通常是电动机轴与丝杠之间采用锥环无缝连接或高精度十字联轴器连接,从而使进给系统具有较高的传动精度和传动刚度,并大大简化了机械结构。

### 三、导轨

导轨是机床的基本构件,是进给系统的重要环节。机床加工精度的高低、使用寿命的长短在很大程度上取决于机床导轨的质量。数控机床常用的导轨有滑动导轨、塑料导轨、滚动导轨和静压导轨。

#### 1. 滑动导轨

滑动导轨根据在机床上的运动特点可以分为静导轨面和动导轨面,它的主要特点是耐磨性好、运动平稳、工艺性好。由于工作时的速度低,因此普遍被使用在数控车床和数控铣床上。

#### 2. 塑料导轨

塑料导轨是近几年出现的一种新型滑动导轨。按粘接的方式可以分为贴塑导轨和注塑导轨,其中贴塑导轨是在与床身导轨相配的滑动导轨上粘接上静、动摩擦系数基本相同的塑料软带;注塑导轨则是在静、动导轨之间采用注塑的方法制成塑料导轨,这种塑料导轨具有良好的摩擦特性、耐磨性及吸振性,目前在数控机床上得到了广泛的应用。

#### 3. 滚动导轨

滚动导轨是在静、动导轨面之间安装滚动件,使静、动导轨之间形成滚动摩擦,可以有效地提高数控机床移动部件的运动精度和定位精度。它的优点是摩擦系数小,运动灵活,功率小,位移精度和定位精度高,低速无爬行,耐磨性好;缺点是抗振性较差,结构复杂,防护要求较高。

#### 4. 静压导轨

静压导轨是在静动导轨面之间开有油腔,将有一定压力的油通过节流器输入油腔,形成压力油膜,浮起运动部件,使动、静导轨工作面之间处于液体摩擦,不产生磨损。它的优点是摩擦系数较低,精度保持性好,所需功率较小,运动不受速度和负载的限制,低速无爬行,承载能力大,刚度好,抗振性好;缺点是结构复杂,要有供油系统,油的清洁度要求高。静压导轨主要用于重型数控机床。

## 项目三 数控系统

### 【学习目标】

(1) 了解数控系统的工作原理

(2) 掌握插补的工作原理

数控系统是数控机床的大脑,数控机床几乎所有的控制功能都由它控制实现,如主轴、刀具、冷却和机床辅助功能。因此数控系统的发展在很大程度上代表了数控机床的发展

方向。

数控系统在接收到加工程序等送来的各种信息，经过处理和分配后，向驱动机构发出执行命令。在执行过程中，其驱动、检测等机构同时将有关信息反馈给数控系统，经其处理后发出新的执行指令。

## 一、数控系统概述

### 1. 数字控制信息

(1) 几何信息 几何信息是指通过被加工零件的图样所获得几何轮廓信息。这些信息由数控系统处理后，变为控制各进给轴的指令脉冲，最终形成刀具的移动轨迹，其几何信息的指令，由准备功能 G 代码具体规定。

(2) 工艺信息 工艺信息是指通过工艺处理后所获得的各种信息。这些信息包括工艺准备、刀具选择、加工方案（包括进给路线、切削用量等）及补偿方案等各方面信息。

(3) 辅助信息 辅助信息泛指除几何、工艺信息之外的其他信息，其作用主要为控制机床辅助动作，如主轴的起动和停止、调速和换向、切削液的开和关、零件的夹紧与松开、以及找刀和换刀等各种信息。

### 2. 数控系统的组成

数控系统是数控机床的核心，它由硬件和软件两部分组成。其中硬件一般包括工业用 CPU、存储器（ROM，RAM）、输入/输出装置（键盘、显示器）、输入/输出（I/O）接口以及专用接口和部件，要使数控系统真正能进行计算或过程控制，还必须有软件的支持。计算机运行的程序通过程序设计确定，使系统完成人们指定的工作。硬件性能再好，如果程序设计不合理，计算机仍满足不了使用的要求，所以软件也是系统的重要组成部分，并与硬件一样具有十分重要的作用。

## 二、数控系统的工作原理

数控系统的工作原理是指数控系统如何按照输入的原始数据信息，通过运算、比较等方法处理产生出符合要求的若干个脉冲信号，以控制刀具的运动轨迹。简言之，就是指控制各进给坐标所需进给脉冲的基本规律，以下将通过插补原理和逐点比较法进行说明。

### 1. 插补原理

(1) 脉冲当量 数控离不开计算机，计算机离不开“脉冲”。任何一台数控系统，实质上都是一个复杂脉冲控制系统。从广义上看，脉冲是一种间断的、具有突然变化的特征，它含有“脉动”和“冲击”的意思。例如，无线电发报的过程就具有脉冲现象。脉冲当量是数控机床的一个基本参数。数控系统在工作时，必须先将某一坐标方向上所需要的位移量转换为脉冲数，并放入计数器内，然后启动主控制器控制的脉冲发生器并输出脉冲，驱动伺服电动机运动；另一方面，置于计数器内的脉冲数同时在计数器内作减法，当原置入的脉冲数减至零时，脉冲输出立即停止，该坐标方向的位移也相应停止。这就是说，该系统每发出一个进给脉冲，机床的机械运动机构就产生一个相应的位移量。一个脉冲所对应的位移量称为脉冲当量，它是机床最小的基本单位。其进给坐标轴的脉冲当量用符号  $Q$  表示

$$Q = \frac{\theta}{360^\circ} L_i$$

式中  $Q$ ——脉冲当量 (mm);

$\theta$ ——步距角 (伺服电动机在输入一个脉冲时所转过的角度);

$L$ ——传动螺旋副的导程 (mm);

$i$ ——伺服电动机至螺旋副间的传动比。

刀具位移与脉冲当量的关系

$$S = QN$$

式中  $S$ ——刀具运动的位移量 (mm);

$N$ ——脉冲个数。

数控铣床一般规定 Z 轴的脉冲当量为 0.01mm, X、Y 轴的脉冲当量为 0.005mm。另外, 对于机床的旋转坐标轴, 因其位移为角位移, 故其脉冲当量的角度单位为“°”(度), 如 1°等。

## (2) 插补概念

1) 插补运动的产生。在普通机床上加工复杂的零件轮廓时, 刀具的运动主要是靠操作者凭经验及技巧进行控制的, 但在数控机床上加工复杂的零件轮廓时, 需要将两个或两个以上的进给轴的直线运动合成, 以实现所需轮廓的运动轨迹, 在数控技术中, 这种复杂的合成运动称为插补运动。数控装置为了完成机床所需插补运动而进行的一系列运算, 即称为插补运算; 在插补运动过程中, 每一个单位脉冲 (即每一步) 所到达的终点, 称为插补点。

2) 插补的方式。由于零件的外形轮廓一般由直线和圆弧所组成, 因此, CNC 数控系统都具有直线插补和圆弧插补两种基本功能。在三坐标以上联动的 CNC 系统中, 有的还具有螺旋插补功能。在一些高档的 CNC 系统中, 已经出现了正弦线插补、抛物线插补、渐开线插补、样条线插补和球面螺旋线插补等功能。

## 3) 插补运算轨迹分析

设数控系统规定 X 和 Y 坐标轴方向的脉冲当量均为 0.01mm, 如最小设定单位为一个脉冲, 现分析图 1-8 所示中的 A 点到 B 点的插补运算轨迹。

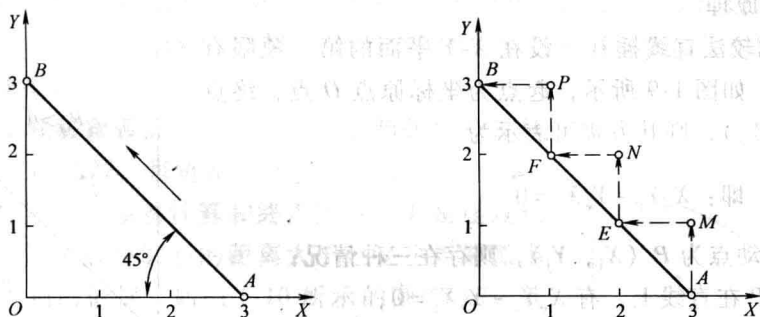


图 1-8 插补运算轨迹分析

根据图 1-8 所示, 要求加工出从 A 点到 B 点的一条直线, 机床在实际加工中并不是走出一条理想的直线, 而是首先沿 Y 轴的正方向移动一个脉冲, 再沿 X 轴的负方向移动一个脉冲, 其后依次运动到 B 点, 近似加工出一条满足质量要求的直线。

综上所述, 可以得出以下结论:

- 插补运动的实际轨迹不可能与理想轨迹完全重合, 插补点一般也不可能落到理想的轨迹上。



• 当进给运动的轨迹不与坐标轴平行时, 则经数控系统插补后的实际轨迹均由很多折线段组成, 其折线交点即为插补点, 一般不与理想轨迹重合, 每一个交点的位置由数控系统控制和确定。

• 数控系统进行的插补运算, 是以最小的单位为插补单位 (一个脉冲), 在轮廓加工时看不出实际插补轨迹的折线形状。在实际加工中实际终点与理想终点的误差一般不大于 0.5 个脉冲。

• 数控系统规定的脉冲当量越小, 插补运动的实际轨迹就越接近理想轨迹, 加工精度也越高。

(3) 插补的工作原理 插补是根据给定的信息, 在理想轮廓 (或轨迹) 上的已知两点之间, 确定一系列中间点的一种方法。在加工过程中, 为保证位移的实际轨迹尽量与给定的轮廓 (理想轨迹) 相一致, 中间点的位置就应越接近理想轨迹, 这就需要数控系统对数据进行相对复杂的工作, 对各坐标方向上的动态位移量 (脉冲数), 不断地进行精确计算, 然后由主控制器发出指令, 向输出线路送出其插补计算后的结果。

通过插补计算的结果, 对各进给坐标所需进给脉冲的个数、频率及方向进行分配, 以实现进给轨迹的控制, 这就是插补原理。

## 2. 逐点比较法

逐点比较法又称代数运算法, 是数控机床广泛采用的一种插补方法, 可实现直线插补、圆弧插补, 也可用于其他非圆的二次曲线 (如椭圆、抛物线和双曲线等) 的插补, 其特点是运动直观, 最大插补误差不大于一个脉冲当量, 脉冲输出均匀, 调节方便。

逐点比较法的基本原理是每次仅向一个坐标轴输出一个进给脉冲, 每走一步都要将加工点的瞬时坐标与理想的加工轨迹相比较, 判断实际加工点与理想加工轨迹的偏移位置, 通过偏差函数计算二者之间的偏差, 从而决定下一步的进给方向。每进给一步都要完成偏差判别、坐标进给、新偏差计算和终点判别四个工作节拍。下面分别介绍逐点比较法直线插补和圆弧插补的工作原理。

(1) 逐点比较法直线插补 设在  $X$ - $Y$  平面的第一象限有一加工直线  $OA$ , 如图 1-9 所示, 起点为坐标原点  $O$  点, 终点坐标为  $A(X_e, Y_e)$ , 则其方程可表示为

$$\frac{Y_j}{X_i} - \frac{Y_e}{X_e} = 0, \text{ 即: } X_e Y_j - Y_e X_i = 0$$

若加工时的动点为  $P(X_i, Y_j)$ , 则存在三种情况:

- 1) 加工点  $P$  在直线上, 有  $X_e Y_j - Y_e X_i = 0$ ;
- 2) 加工点  $P$  在直线上方, 有  $X_e Y_j - Y_e X_i > 0$ ;
- 3) 加工点  $P$  在直线下方, 有  $X_e Y_j - Y_e X_i < 0$ ;

从图 1-9 可以看出, 当点  $P$  在直线上方时, 应该向  $X$  的正方向进给一个脉冲当量, 以趋向该直线; 当点  $P$  在直线下方时, 应该向  $Y$  的正方向进给一个脉冲当量, 以趋向该直线; 当点  $P$  在直线上时, 既可向  $X$  的正方向也可向  $Y$  的正方向进给一个脉冲当量, 通常有:

1) 当  $F_{i,j} \geq 0$  时, 加工点向  $X$  轴的正方向进给一个脉冲当量, 到达新的加工点  $P_{i+1,j}$ , 此时  $X_{i+1} = X_i + 1$ , 则新加工点  $P_{i+1,j}$  的偏差判别函数  $F_{i+1,j}$  为

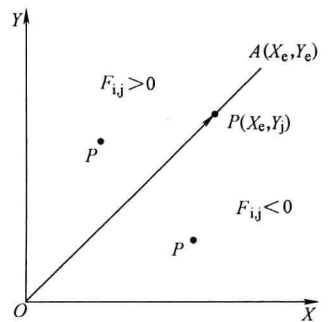


图 1-9 逐点比较法直线插补