



高职高专“十一五”规划教材

SHUKONG XITANGCHUANG BIANCHENG
YU JINENG XUNLIAN

数控铣镗床编程

与技能训练

陈云卿 杨顺田 主 编
史苏存 主 审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

数控铣镗床编程与技能训练

陈云卿 杨顺田 主编
史苏存 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了数控铣床、镗床和加工中心的加工技术和编程方法,包括数控加工基本概念、数控铣镗床分类及功能、数控铣镗床的编程及编程的工艺知识、参数编程及其应用、数控铣镗床的操作及日常维护等。编程方面是以当前应用广泛的 FANUC 0i-MB 系统、SINUMERIK 840D 系统和 GSK990M 系统的编程指令进行全面系统讲解。

本书内容丰富、结构合理、图文并茂、针对性强,始终把数控加工工艺和编程紧密结合,以生产中加工的实例进行工艺分析和编程,突出了实际应用这一主线。编程实例丰富,并配有走刀路线图和详细的程序说明,使读者能够由浅入深、由简到繁逐步地掌握编程的思路和方法,进而达到灵活应用,举一反三的效果。

本书配套编写有《数控铣镗床编程与技能训练习题册》,它是根据本书各章的内容编写的多种形式的理论练习题和系列化实操训练题,以帮助学生和读者能够系统地复习和巩固所学的知识。

本书可作为高职高专院校、中等职业学校、成人院校数控专业的教学用书,也可作为职工大学、企业和培训机构、电视大学、函授大学等的数控技术培训教材或教学参考书,还可供从事数控加工和编程的广大工程技术人员和技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣镗床编程与技能训练/陈云卿,杨顺田主编.

北京:化学工业出版社,2008.8

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02847-1

I. 数… II. ①陈…②杨… III. ①数控机床:铣床-程序设计-高等学校:技术学院-教材②数控机床:镗床-程序设计-高等学校:技术学院-教材 IV. TG547 TG537

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 116407 号

责任编辑:韩庆利 高 钰

文字编辑:李 娜

责任校对:蒋 宇

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 357 千字 2008 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00 元

版权所有 违者必究

《数控铣镗床编程与技能训练》编审人员名单

主 编 陈云卿 杨顺田

主 审 史苏存

参 编 吴新南 邓志聪 梁方波
杨德辉 张东生

前 言

数控机床是综合应用了计算机、程序和自动控制、自动检测技术，与机床的新结构、新技术相结合的机电一体化设备，是机械行业最先进的新型工艺装备。

数控技术自问世半个多世纪以来，随着相关技术和社会需求的不断增长而迅速发展。我国从 20 世纪 80 年代开始推广和普及数控技术，经过二十多年的发展，到 21 世纪初，数控机床在品种、精度、数量及加工范围方面都取得惊人的成就，数控机床的需求量出现了前所未有的增长势头，使数控机床生产出现了供不应求的局面。

大量数控机床在机械制造业的高速增长，导致了数控技术应用型人才的紧缺。为了适应高等职业教育对数控人才培养的需求，特编写了《数控铣镗床编程与技能训练》一书。本书从高职高专教育的实际出发，力求使数控编程理论与数控实操训练相结合，数控加工工艺和数控编程有机结合，数控编程应用与生产实际相结合，以培养既有编程理论知识，又有工艺和生产实际知识的中、高级技能实用型人才。

本书的特点如下。

1. 突出数控铣、镗床编程

由于在数控切削加工机床中，除了回转体零件是由数控车床加工外，其他箱体类、机架类、平面和曲面类零件都是由数控铣、镗床和加工中心进行加工，它们的加工对象广泛，加工工艺性能基本相同，所以，归纳在一起编写，既突出了数控铣、镗床相同的编程特点，也符合专业工种的技能训练要求。

2. 以手工编程和参数编程为主

本书以手工编程和参数编程为主进行全面的编程训练，使在工艺准备工作和生产现场的编程都能得到快捷、灵活的应用，对自动编程本书只作简要介绍。

3. 多系统兼顾，突出 FANUC 与 SINUMERIK 编程系统

考虑到当前编程系统很多，本书编写了当前有代表性的法拉克（FANUC）0i-MB 系统、西门子 SINUMERIK 840D 系统和 GSK990M 系统，以方便各院校和读者对编程系统的选择和功能比较，增加多方面的编程知识。

本书由广州工程职业技术学院、从化技校陈云卿任第一主编，四川工程职业技术学院杨顺田任第二主编。该书中第 1、2、4 章和第 3 章的法拉克系统编程部分由陈云卿编写，第 3 章的西门子系统编程部分和第 5 章、第 6 章由杨顺田编写，参加编写本书的还有广州工程职业技术学院梁方波，广州从化技校吴新南、邓志聪、张东生，四川工程职业技术学院杨德辉。全书由陈云卿负责统稿定稿。

中国第二重型机械集团公司副总工程师史苏存（高级工程师）担任本书主审并提出了许多宝贵意见。

在本书编写过程中，得到各院校领导的大力支持，在此表示衷心感谢！

在编写本书过程中还得到了林向华、纪伟泓等的支持和帮助，在此表示衷心感谢！

在本书编写中，参考了某些教材、手册等资料，在此对有关作者表示衷心感谢！

限于编者的学识水平和经验，加之时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2008 年 7 月

目 录

第 1 章 数控加工基本概念	1
1.1 数控概述	1
1.1.1 数控的定义	1
1.1.2 数控机床的组成及加工原理	2
1.1.3 二进制及 BCD 编码	5
1.2 数控机床的分类	6
1.2.1 按工艺用途分类	7
1.2.2 按控制运动的轨迹分类	7
1.2.3 按伺服系统控制方式分类	8
1.2.4 按控制的坐标轴数分类	9
1.3 数控机床的特点与先进性	9
1.3.1 数控机床的特点	10
1.3.2 数控机床的适用范围	11
1.4 数控机床的发展	11
1.4.1 数控机床的产生	11
1.4.2 我国数控技术的发展状况	12
1.4.3 未来数控机床的发展方向	13
第 2 章 数控铣镗床分类及功能	14
2.1 数控铣镗床的分类	14
2.1.1 数控铣床	14
2.1.2 数控镗床	16
2.1.3 加工中心 (MC)	16
2.2 数控铣镗床主要部件的结构特点	18
2.2.1 数控铣镗床的主轴结构特点	18
2.2.2 进给传动系统的结构特点	20
2.2.3 数控铣镗床的导轨结构特点	22
2.2.4 自动换刀装置的结构特点	24
2.3 数控铣镗床的功能	25
2.3.1 数控铣镗床的基本功能	25
2.3.2 数控铣镗床编程系统的功能	27
2.4 数控铣镗床的编程系统	27
2.4.1 编程系统的准备功能 G 代码	28
2.4.2 编程系统的辅助功能 M 代码	31
2.5 数控铣镗床的坐标系	32
2.5.1 坐标系定义	32
2.5.2 数控机床坐标系的命名	33
2.5.3 数控铣镗床的坐标系及参考点	33
2.5.4 工件坐标系及其原点	35
2.5.5 机床坐标系与工件坐标系的关系	35
2.5.6 绝对坐标编程与增量坐标编程	37
第 3 章 数控铣镗床的编程	40
3.1 数控加工的编程方法和程序结构	40
3.1.1 数控加工编程方法	40
3.1.2 数控程序的结构	41
3.1.3 信息字的规定	41
3.1.4 编程格式	42
3.2 通用编程指令的手工编程	43
3.2.1 数控铣镗床的通用 G 代码的编程	43
3.2.2 通用的 M 指令的编程	57
3.3 固定切削循环 G 代码	57
3.3.1 法拉克 (FANUC) 编程系统的固定切削循环	58
3.3.2 西门子 (SINUMERIK) 840D 编程系统的固定切削循环	73
3.4 编程系统的专用和特殊的 G 指令	81
3.4.1 FANUC Oi-MB 其他编程指令	81
3.4.2 西门子 (SINUMERIK) 840D 其他编程指令	89
3.5 自动编程简介	103
第 4 章 数控铣镗床编程的工艺知识	122
4.1 机械加工工艺的基本知识	122
4.1.1 机械加工工艺规程的基本概念	122
4.1.2 机械加工工艺规程的制定	125
4.1.3 机械加工工艺规程制定的步骤	126
4.2 数控铣、镗床的加工工艺特点	129
4.2.1 数控铣、镗床设备的技术性能	129
4.2.2 工件的定位和装夹	131
4.2.3 建立工件坐标系	134
4.2.4 数控铣、镗床的主要加工对象	135

4.3 数控铣、镗床的刀具系统	137
4.3.1 刀具系统的特点	138
4.3.2 数控刀具性能的要求	139
4.3.3 数控刀具的种类及选用	142
4.3.4 调刀设备与刀具预调	145
4.4 数控铣、镗床加工的切削用量选择	147
4.4.1 数控铣削用量选择原则	147
4.4.2 典型刀具的铣削用量推荐表	147
4.5 典型零件的数控加工工艺及编程	152
4.5.1 链轮	152
4.5.2 轴端接头	156
第5章 参数编程及其应用	167
5.1 法拉克 (FANUC) Oi-MB 系统宏指令编程	167
5.1.1 用户宏程序	167
5.1.2 变量的种类	168
5.1.3 变量的使用与运算	170
5.1.4 宏指令编程举例	174
5.2 西门子 (SINUMERIK) 840D 参数编程及应用	177
5.2.1 R 参数及子程序概述	177
5.2.2 参数类型及运算	177
5.2.3 R 参数及子程序应用实例	178
5.2.4 程序跳转及程序段重复功能	182

第6章 数控铣镗床的操作及日常维护	189
6.1 安全生产和安全操作规程	189
6.1.1 有关安全文明生产的规定	189
6.1.2 数控铣镗床基本操作规程	190
6.2 数控铣镗床的操作	191
6.2.1 典型数控铣床 GSK990M 的操作	191
6.2.2 典型数控镗床 SINUMERIK 840D 的操作	198
6.2.3 加工准备及手动操作	203
6.2.4 程序存储和编辑	210
6.2.5 程序自动运行	214
6.3 数控机床的日常维护	215
6.3.1 数控机床的工作环境要求	215
6.3.2 数控机床的维护	215
6.3.3 数控机床的常见故障与排除	217
附录	220
1. 数控编程系统国家标准 G 代码 (JB 3208—83)	220
2. 数控常用英语缩略词	221
参考文献	223

第1章

数控加工基本概念

数控技术与数控机床在我国机械制造行业的应用越来越广泛，在保证产品的加工质量、提高生产率和降低生产成本等方面发挥着越来越重要的作用，也需要大量的数控专业技术和技能型人才从事这方面的工作。要学习和掌握数控编程和数控机床操作技能，首先要学习数控加工的基本原理、数控机床的分类和特点及了解数控机床的发展等基本知识。

1.1 数控概述

数控加工与普通机床的加工方法有什么不同？加工原理和加工特点怎样？首先要从学习数控加工的基本概念开始，逐渐深入学习数控机床特点、数控编程方法和实际操作技能等。

1.1.1 数控的定义

什么叫数控？简单地说，数控就是数字程序控制的简称。它是英文“Numerical Control”的缩写，简称为 NC。

在普通铣床或镗床上加工零件的平面或孔，都是由机床操作工人手动操作机床的工作台或主轴，使工件相对于刀具作进给运动。数控铣床或镗床等对零件的加工则是由零件的加工程序自动控制机床的工作台或主轴使工件相对于刀具作进给运动。也就是数控程序代替了操作工人的手动操作，见图 1-1。

举例说明：

铣平面 A 到 B，普通铣床是手动操作工作台作进给运动，而数控铣床是由程序指令加工：
G01 X
-50 F100 ；

镗孔 $\phi 30$ 时，在普通镗床上是手动操作，使镗刀对工件进行镗孔，而数控镗床镗孔 $\phi 30$ 时是由程序指令执行：

M03 S1000 ；（主轴正转，1000r/min）

G00 G90 X0 Y0 ；（刀具定位到孔中心）

G01 Z-35 F50 ；（向下镗孔加工）

此两段程序说明，数控机床对零件加工是由数字程序指令控制刀具（或工作台）的运动实现的。这些程序段是由数字、字母和正、负号等组成的，所以数控的定义就是将数字、字母和符号等组成的控制指令输入到机床的数控装置中并转换成信息，用以控制机械设备的状态和加工过程。很显然，在这里的数字是：90，85，35，50，98 等；字母有 M，G，X，F，

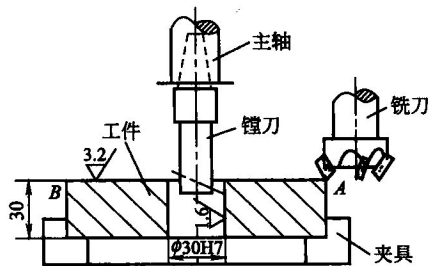


图 1-1 数控铣加工

Z, S 等; 符号有“+”和“-”, 只是“+”号不用写出。其中数字指令“M03 S1000”就是铣床主轴正方向每分钟 1000 转的旋转“状态”, “G01 Z-35 F50”就是镗刀以每分钟 50mm 的进给速度镗孔的“工作过程”。数控加工就是通过许多这样的数字指令组成的程序进行连续加工, 完成零件的加工任务。

随着数控技术的发展, 先进的数控机床的数控装置中都配置有小型计算器或微型计算机, 所以将带有小型计算机 (Computer) 数控装置的数控加工简称为 CNC。

有的数控机床可以直接与外部计算机连接, 由计算机进行自动编程, 然后直接控制数控机床进行程序加工。这种由外部计算机及其外围设备对零件自动编程后直接控制数控机床进行程序加工的方法, 叫做直接数控, 简称为 DNC。

1.1.2 数控机床的组成及加工原理

1. 数控机床的组成

数控机床通常可以归纳为以下组成部分, 见图 1-2。

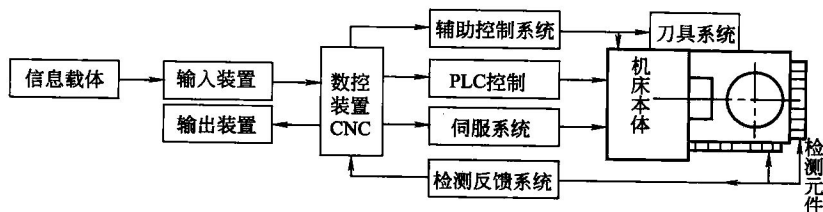


图 1-2 数控机床的组成框图

根据数控机床的组成框图作以下说明。

(1) 信息载体和传输 零件的数控加工程序是由技术人员用手工编程或计算机自动编程完成的, 只有将编制好的加工程序传送到数控机床的数控装置中, 才能执行该程序的加工。较简单的加工程序可以不通过信息载体传输, 而用手动从数控机床的操作面板上直接输入到数控装置中。但操作中容易出错, 又占用了机床的加工时间。较复杂的程序就需要有信息载体预先录制这些程序, 待需要加工零件时, 就将信息载体放入数控机床的外部输入装置, 按输入键, 将加工程序读入机床的数控装置中。此方法准确可靠, 程序在输入中不易出错, 又节省了手工输入程序所占用的机床工作时间。常用的外部输入装置有磁带录入装置, 纸带光电阅读机等。

人们将存储有程序的磁盘、磁带、硬盘或穿孔纸带统称为信息载体。

① 穿孔纸带。在计算机上自动编程生成零件的加工程序后, 可以通过外接的穿孔机将程序穿孔在标准纸带上, 就制成了该程序的纸带。需要用该程序加工零件时, 就把程序纸带放入数控机床的光电阅读机上, 启动阅读机, 就将纸带上的程序读入了数控装置中, 然后就可执行程序加工。

穿孔纸带已国际化, 纸带上有 8 个孔位代表 8 个磁道, 另有一个小孔是引导孔, 是供阅读机转动纸带导向用的。

穿孔纸带使用的编码有两种: 公制的为 ISO 编码, 英制的为 IEA 编码。

a. ISO 编码。它是国际公制标准。纸带上 1~4 磁道和 5+6 磁道结合, 表达数字 0~9; 1~5 磁道与 7 磁道结合, 表达字母 A~Z; 1~4 磁道与 6 磁道结合, 表达符号 (+、-)。

(3) 伺服系统 伺服系统由伺服电机、伺服电路、伺服驱动元件和机床的执行机构组成。它能够根据数控装置输入的脉冲信号转变成控制机床运动部件(坐标)的移动。脉冲信号也就是运动部件的位移量,又叫脉冲当量。脉冲当量的大小与数控机床的精度有关。一般经济型数控机床的脉冲当量为 $0.01\text{mm}/\text{脉冲}$,高精度数控机床的脉冲当量为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$,更高精度数控机床的脉冲当量为 $0.0005\text{mm}/\text{脉冲}$ 。

伺服驱动元件包括主轴伺服单元(控制主轴转速)、进给驱动单元(位置移动和速度控制)、回转工作台驱动单元(位置移动和转动及速度控制)和自动换刀机构的控制单元等。

主要伺服驱动元件是伺服电机,经济型数控机床采用步进电机或电液伺服马达,高精度数控机床都采用直流伺服电机或交流伺服电机。

(4) 位置检测系统 为了保证零件的加工精度,在程序加工中,伺服系统发出的位移指令与机床运动部件应到达的实际位置是否相符,必须有位置检测元件随机记录运动部件的实际位置,并与指令值进行比较和校正。位置检测系统能够对机床运动部件的实际运动速度、方向、位移量及加工状态进行在线检测,并将检测的数据反馈给数控装置。数控装置将实际数据与程序发出的指令值进行比较并计算出误差,再向伺服系统发出纠正误差的指令,使运动部件能够准确到达指令值的位置。

目前数控机床上使用的测量元件有直线型和回转型两类。直线型常用的测量元件有光栅尺、感应同步器、磁栅尺;回转型常用的测量元件有圆光栅、圆感应同步器、旋转变压器、圆磁栅等。

(5) 辅助装置 数控机床中常用的辅助装置有刀库及自动换刀装置、空压装置、液压装置、冷却和润滑装置、排屑装置等。它们接收数控装置发出的指令控制辅助装置在程序加工中的功能和动作。

(6) 机床本体 机床本体是指数控装置所控制的数控机床的主体,对于不同类型的数控机床,其机床本体的组成有所不同。像数控车床的机床本体主要是床身、床头箱及主轴、刀架及进给传动机构;而数控加工中心的机床本体主要是床身、立柱、主轴箱及主轴、工作台及进给传动机构。虽然这些部件与普通机床的部件相似,但为了保证数控机床的加工具有高精度和高效率,对机床各部分的结构设计采用了许多新技术,对机床主轴精度和工作部分的运动精度采用了国际上先进的制造精度标准。

(7) 刀具系统 数控机床应该配备先进的刀具及辅具,才能实现加工的高精度和高生产率。在刀具系统中,除了数控机床配有的刀具库和自动换刀机构外,还应根据机床的加工性能配置各种系列刀具和辅具,才能满足各种类型零件的加工。

数控机床上使用的刀具大多数应该是先进的、高质量的可转位硬质合金刀具,它能够采用较大的切削用量,充分发挥数控机床的切削性能,提高加工质量和生产率。

2. 数控加工原理

机械零件的加工过程是由许多工序组成的,每一个工序都有不同的加工内容和加工要求,并由不同的机床完成。对于零件形状复杂、精度要求很高的表面,大都安排在数控机床上加工。所以,将需要由数控机床加工来完成的工序称为数控工序。

在数控加工工序中,根据零件图的形状、尺寸精度和加工工艺过程,制订正确的加工方案,合理选择刀具和切削用量,编制出加工程序和穿孔纸带,然后将程序通过信息载体或手动方式输入到机床的数控装置中。程序加工时,数控装置进行数据处理并转换成信息传送到机床的伺服系统,再由伺服系统严格按照指令信息控制机床和刀具的各种运动,从而加工出

符合编程要求的零件。简而言之，数控加工原理就是将被加工零件的工艺过程、工艺参数的要求用数控程序语言以手动或信息载体输入到数控机床的数控装置中，数控装置便根据程序指令直接控制机床的各种运动对零件进行加工。当程序结束，机床自动停止，零件加工完成。数控加工原理的简图，见图 1-4。

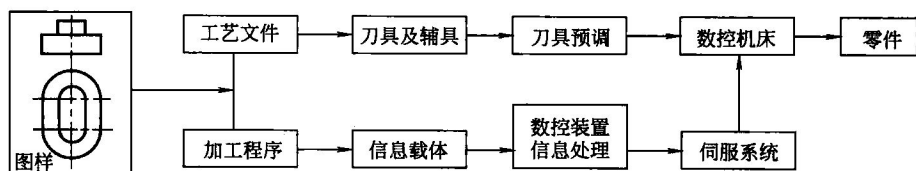


图 1-4 数控加工原理框图

1.1.3 二进制及 BCD 编码

在前述的数控定义中，数控就是由数字、字母和符号组成的程序指令。那么，数控机床是怎样识别这些程序指令，并严格按照这些指令进行运动呢？这与二进制及 BCD 编码有关。

1. 二进制

大家都知道，电子设备和电子计算机都不拥有自身的“智力”，而是人们事先把智力“编辑”在准备的预定范围，然后由它们来展现这些智力。电子设备的“词汇”只有两个相对的概念：开和关。或者换成另一种表达方式：用 1 表示开，用 0 表示关，或者用 1 表示通电，用 0 表示断电。数控机床是装有先进数控装置的电子设备，它是用电子脉冲进行工作的。有电子脉冲，就是有电流流动，表示为“1”；无电子脉冲，就是无电流流动，表示为“0”。这种用“1”和“0”表示的电子脉冲信号正符合二进制的运算法则。所以，把“1”和“0”的表达方式称为二进制编码，表达单位叫做二进制数位（Bit）。

怎样用二进制数位表示单个数、数字、字母和符号呢？这就要通过二进制数位的组合，使它能表达一个任意大小的数，并把一些确定的字母、数和符号配置成二进制数位的组合，称之为编码。能实现这种转换功能的叫做“编码器”。所以数控程序在输入数控装置后都要进行编码处理才能转换成电子脉冲信息。

下面举例说明用二进制数位表达十进制数字的实例。

十进制数字是 0，1~9 共十个数字，它们是十进位的；二进制数字是由 0 和 1 组成的，它们是二进位的。两者之间的对应关系如下：

十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
二进制数	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001

2. BCD 编码

当十进制数较大时，组成二进制数位就很长。例如，508 这个数变成二进制数就是 111111100，如果数字再大，转换成的二进制数位就更长了，这在数控装置的实际应用中就遇到困难。因此必须用二进制数编译十进制数，对数控程序的数值进行编译。这种用二进制数编译十进制数的编码，就叫 BCD 编码。

例如，十进制数 173 可以分解成三个相对应的二进制数 0001 0111 0011

十进制数 173 的数位为 1 7 3

有了 BCD 编码，十进制数的大小就不受限制了，例如：

0001 0111 0100 0010 0011 0110
1 7 4 2 3 6 =174236

使用二进制和二进制组合，并应用 BCD 编码，就能对输入到数控装置中的程序在执行加工前进行数据处理和编码处理，使程序中的数字、字母和符号都能转换成机床伺服系统能够识别和准确执行的信息。

3. ISO 编码的数字、字母及符号表（见表 1-1）

表 1-1 ISO 编码表

磁道号								注 解	
8	7	6	5	4	3	2	1		
●				●				NUB	起点,零位
				●			●	BS	返回
				●				HT	列表,制表
				●		●		LF	换行,程序段结束符
●				●			●	CR	回车
●		●						SP	空格
		●		●				{	注解前括号
		●		●				}	注解后括号
		●		●		●	●	%	程序开,程序启动
		●	●					:	主程序段
●		●		●		●	●	/	跳过程序段
		●		●			●	-	负号
		●	●					0	0~9数字 (由1,2 3,4磁道与5,6磁道组合)
		●	●					1	
		●	●				●	2	
		●	●				●	3	
		●	●			●	●	4	
		●	●			●	●	5	
		●	●			●	●	6	
		●	●			●	●	7	
		●	●					8	
		●	●					9	
	●						●	A	第1角度a
	●						●	B	第2角度b
	●						●	C	第3角度c
	●						●	E	转移指令
	●						●	F	进给指令
	●						●	G	准备功能
	●			●			●	I	在X方向中心点坐标
	●			●			●	J	刀具的调整位置
	●			●			●	K	在Z方向中心点坐标
	●			●			●	M	辅助功能
	●			●			●	N	程序段号
	●		●				●	S	转速指令
	●		●				●	T	刀具指令
	●		●					X	坐标方向的移动指令
	●		●					Y	
	●		●					Z	
	●		●				●	DELET	(删除)

补偶孔 引导孔

1.2 数控机床的分类

随着数控技术的发展，数控机床的种类越来越多，但它们基本上可以参照普通机床的类型进行分类，其分类方法如下。

1.2.1 按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

此类机床用于金属材料的切削加工，例如数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、数控磨床、数控滚齿机床、数控磨齿机床、数控加工中心等。

2. 金属成型类数控机床

此类机床用于板材的成型加工，例如数控冲床、数控弯管机、数控剪板机床等。

3. 特种加工数控机床

此类机床是非刀具切削加工的特种机床，例如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机床、数控激光加工机、数控等离子切割机床等。

4. 其他数控机床

其他类型的数控机床有：数控三坐标测量机床、数控雕刻机、工业机器人等。

1.2.2 按控制运动的轨迹分类

1. 点位控制数控机床

这类机床只控制刀具从一个点快速移动到另一个点的位置精度，并不控制在移动中的轨迹，也不在移动中进行切削。典型的点位控制数控机床有数控钻床，点位控制加工例题见图1-5。其他有数控冲床、数控电焊机等。

2. 直线控制的数控机床

这类机床是控制刀具或工作台以给定的速度，沿平行于某一坐标轴方向由一个位置到另一个位置的移动。这个移动不但要求有精确的定位，还要控制位移速度，以适用不同刀具和工件材料的加工要求。直线控制刀具移动的有数控车床，例题见图1-6。在镗、铣、磨加工中，直线控制工作台移动的有数控镗床和铣床，加工中心、数控磨床等。

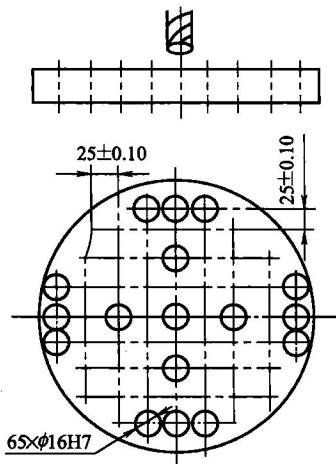


图 1-5 点位控制的钻孔加工

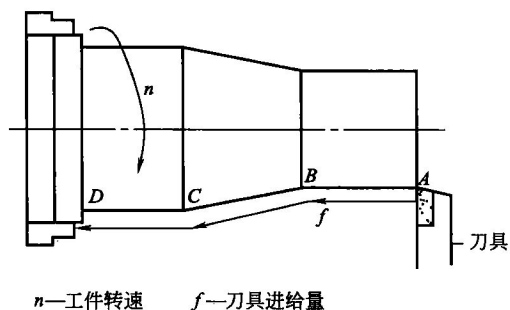


图 1-6 直线控制车削外圆

3. 连续控制的数控机床

该类机床主要同时控制两轴或两轴以上的轮廓加工，它不仅控制加工的起点和终点，还须控制整个加工过程各坐标轴同时移动的瞬时位置、速度及速度方向，保证加工轨迹符合工件轮廓的要求。这类机床有数控车床、数控铣床、加工中心、数控镗铣床等。图1-7是在

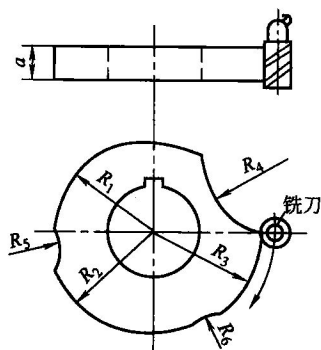


图 1-7 连续控制铣削凸轮

数控铣床或镗床上连续控制铣刀加工凸轮。

1.2.3 按伺服系统控制方式分类

1. 数控机床的伺服系统简介

(1) 伺服系统的组成 数控机床进给伺服系统由驱动控制单元、驱动元件、机械传动部件、执行元件等组成。

驱动单元和驱动元件组成伺服驱动系统，驱动数控机床作进给运动。机械传动部件和执行元件组成机械传动部分，例如滚珠丝杠和工作台，滚珠丝杠和主轴箱，滚珠丝杠和刀架等。

数控机床的进给伺服系统控制坐标轴的运动，有几个坐标轴就有几个伺服系统，要求相互独立，传动链最短，以减少机械传动误差。

(2) 数控机床对伺服系统的要求

① 进给速度范围宽。调速范围 r_n 是伺服电机的最高转速与最低转速之比，即 $r_n = n_{\max}/n_{\min}$ 。为适用不同零件及不同加工方法对切削参数的要求，伺服系统应该具有很宽的调速范围。例如，在进给脉冲当量为 $1\mu\text{m}$ 的情况下，最先进的数控机床的进给速度在 $0\sim 240\text{m}/\text{min}$ 。

② 位置精度高。数控机床伺服系统的位置精度一般要求达到 $1\mu\text{m}$ ，高精度数控机床要求 $0.1\mu\text{m}$ 。

③ 速度响应快。数控机床伺服系统的快速响应特性就是要求跟踪指令信号的响应快。例如运动速度中的加、减速过程时间很短，一般在 200ms 以内。

④ 低速大转矩。数控机床切削加工时，低速切削时采用大的切削深度和进给量，要求伺服系统有大的输出转矩。为此伺服系统对伺服电动机有非常严格的要求，如从低速到高速能够平稳运行，转矩波动要小。

2. 数控机床伺服系统的分类

按数控机床伺服系统的控制方式不同，可分为以下三类。

(1) 开环伺服系统 开环伺服系统控制原理框图见图 1-8。

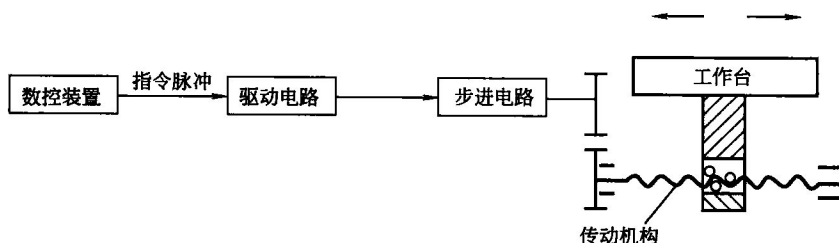


图 1-8 开环伺服系统控制原理框图

开环伺服系统主要依靠核心元件——功率步进电动机或电液伺服电动机实现对位移的控制。它没有位置检测和反馈元件，不能比较数控装置输入的指令位置与实际控制的位置之间的误差，也不存在误差补偿控制，故称为开环伺服系统。它的控制精度不高，但结构简单，工作稳定可靠，适用于经济型的数控机床。

(2) 闭环伺服系统 闭环伺服系统与开环系统不同，在数控机床的运动部件旁安装有位

置检测元件。当数控装置发出的指令脉冲信息经伺服系统控制机床运动部件位移的同时，位置检测元件同步测量出实际位移数据并反馈到数控装置中进行比较，将理论值与实际值的比较误差经伺服系统作补偿控制，直到实际值与理论值达到机床规定的精度为止。此种伺服系统在机床的加工控制过程中，形成控制指令与位置检测随动的控制环路，称为闭环伺服系统，见图 1-9。

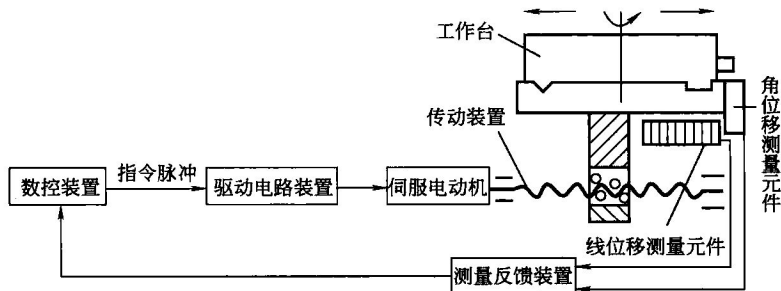


图 1-9 闭环伺服系统控制原理框图

这种闭环伺服系统能够检测和补偿伺服系统的运动误差，获得很高的加工精度。缺点是调试和维修较难，价格较高，适用于高精度数控机床。例如加工中心，大型精密镗铣床等。

(3) 半闭环伺服系统 半闭环伺服系统的控制原理与闭环伺服系统控制原理的区别是将位置检测元件安置在伺服电动机末端，即在控制系统内安置有位置检测元件构成测量反馈装置，而不包括传动装置的位移误差，故称为半闭环控制系统。它能自动进行伺服电动机之前部分的位置检测和误差比较，可对部分误差进行补偿控制，所以它的控制精度高于开环伺服控制系统，但低于闭环伺服控制系统。如果机床的传动装置精度很高，就不会增加伺服系统的控制误差，所以采用半闭环伺服系统控制的数控机床精度也较高，如数控车床、数控铣床等。半闭环伺服系统控制原理框图见图 1-10。

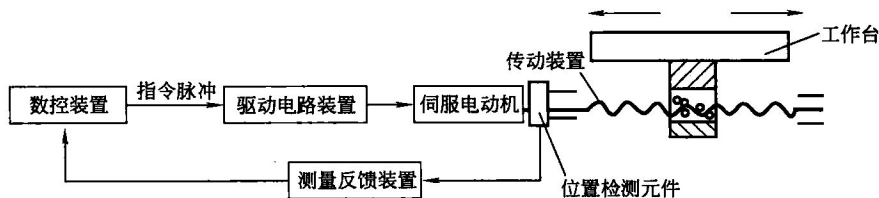


图 1-10 半闭环伺服系统控制原理框图

1.2.4 按控制的坐标轴数分类

此种分类方法是按照数控机床在加工零件时，能同时控制坐标轴的运动数量分类。例如数控车床称两坐标数控机床，加工中心称三坐标数控机床。如果一台数控机床有三个坐标轴，可以任意两坐标轴联动，就称它为两轴半数控机床，如立式数控铣床。先进的高精度数控机床能够同时控制五个坐标轴，就称为五轴数控机床。

1.3 数控机床的特点与先进性

数控机床是配备有数控装置并用数字指令信息控制机床进行自动加工的机电一体化先进

设备,它与同类型普通机床相比具有加工精度高、生产效率高、自动化程度高等许多优点,在机械制造行业中对保证产品质量,提高生产效率起着至关重要的作用。

1.3.1 数控机床的特点

1. 具有很高的加工精度,加工质量稳定

① 数控机床的主轴制造精度高,刚性好。数控机床的主轴是保证工件加工精度和表面质量最重要的部件,它采用优质钢材和先进的热处理方法制造,主轴刚性好,表面硬度高而耐磨,能承受大的切削负荷,使用寿命长。

主轴上配置有高精度的高速滚动轴承组合或液体静压轴承,既能保证主轴的运转精度高,又运转平稳,防止振动。对于卧式数控镗床,主轴伸出时还有自动消除挠度的装置,所以数控机床具有很高的加工精度。

② 数控机床的定位精度和重复定位精度高。数控机床具有位置检测系统时,加工中能够进行准确定位和重复定位。一般高精度的数控机床的定位精度能控制在 $0.015\sim 0.02\text{mm/m}$ 之内,所以被加工的零件能获得很高的位置精度。

③ 由于数控机床的导轨采用淬硬钢和耐磨塑料导轨副或滚动导轨副,使导轨面既耐磨,又保持了导轨有很高的精度,且使用寿命长,也保证了加工中的位置精度要求。

④ 由于数控机床的进给机构采用滚珠丝杠,它不但刚性好、精度高、摩擦阻力小,还有反向间隙补偿功能,使加工能达到很高的尺寸精度。

⑤ 加工质量稳定。由于数控机床的床身、立柱、工作台等在设计方面采用优质钢材和先进的腔形焊接结构,使机床的重量减轻、刚性好、外观流畅美观。在制造中采用先进的焊接工艺和充分消除应力,防止了机床的变形,使机床在长期运转中加工质量稳定。

在加工方面,因为对同一批零件是在同一机床上采用相同程序和刀具进行加工,所以加工质量稳定,互换性好。

2. 具有很高的生产率

① 数控机床具备足够的系统刚性,抗振能力强,允许采用较大的切削用量。

② 机床配有大功率主电动机、主轴刚性好、速度范围大、能承受较大的切削负荷。一般情况下,数控机床的主电动机功率是同类型普通机床的 $3\sim 4$ 倍。

③ 由于数控机床的导轨采用淬硬钢和耐磨塑料导轨副或滚动导轨副,大型镗铣床还采用了液体静压或空气静压技术,减少了运动时的摩擦力,使机床主轴和工作台能够以 $5\sim 10\text{m/min}$ 以上的运动速度快速定位,在加工中节省了大量的辅助时间。

④ 机床可配置刀库和自动换刀装置,加工前对刀具进行预调,可节省换刀和调刀时间。

⑤ 数控机床绝大多数是采用先进的硬质合金可转位刀具进行加工,既能选择较大的切削用量,又减少磨刀时间,减少了机动时间,其切削效率比高速钢刀具高出 $3\sim 5$ 倍。

⑥ 机床采用程序自动加工,可实现多道工序合并在一个程序中连续加工,缩短了机加工时和辅助时间。

3. 加工适用性强,能节省不少工装,降低生产成本

因为数控机床能够用程序加工球面、曲面等各种特殊形状的成型面,不需要设计专用工装和夹具,缩短了生产准备时间,节省了生产成本。

4. 减轻工人劳动强度,改善劳动条件

数控机床采用程序自动加工,减少了工人频繁的手工操作,降低了劳动强度。特别是在恒温车间条件下,工人的工作环境和劳动条件大大改善。