

# 数控机床电控原理与维修

主 编 刘晓魁  
副主编 王少华 袁金诚  
参 编 陈顺科

中南大学出版社

---

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电控原理与维修/刘晓魁,袁金诚,王少华主编.  
—长沙:中南大学出版社,2006.8  
ISBN 7-81105-409-4

I. 数... II. ①刘...②袁...③王... III. 数控机床—电气  
控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 095196 号

---

数控机床电控原理与维修

主 编 刘晓魁  
副主编 王少华 袁金诚

---

责任编辑 陈雪萍  
责任印制 文桂武  
出版发行 中南大学出版社  
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083  
发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482  
印 装 长沙瑞和印务有限公司

---

开 本 787×1092 1/16 印张 24.5 字数 605 千字  
版 次 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 7-81105-409-4/TP·029  
定 价 40.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换

## 内容简介

本书以数控机床最常用的典型系统为例，以其 CNC、伺服驱动和主轴驱动系统为主线，深入浅出地介绍了数控机床的工作原理、连接信号、设定参数、调整方法、诊断步骤及维修方法，对常用的故障检测仪器也作了较详细的介绍。

本书的编写定位准确，内容完整、丰富，层次清楚，重点突出，重视实践技能的培养，实用性强。可作为高等职业技术教育、大中专及职工大学机电一体化专业、数控技术应用专业、机械设备与自动化专业的教材，也可作为从事数控机床维修工作的工程技术人员的参考用书和维修电工技师、高级技师及企业数控机床维修人员的培训教材。

# 前 言

我国正朝新兴工业化道路快速发展，制造业已成为国民经济的支柱产业。特别是我国加入 WTO 之后，外资企业的进入带进了大量的数控机床。随着国内企业生产水平的提升和产品的升级换代，国内企业购置和改造了大量的数控加工设备。数控技术的广泛使用，迅速提高了生产效率和产品质量，同时也大幅度降低了生产成本。但是由于受我国原有的经济基础和生产力水平的制约，使得社会的认知度和职业技术教育的准备明显不足，从而导致数控应用型人才与维修人才的严重短缺。

数控机床是机电一体化设备，数控机床故障诊断及维修是数控机床调试和使用过程中很重要的工作，是目前制约数控机床发挥正常作用的关键因素之一。数控技术的复杂性和综合性加大了其维修的难度，对数控机床维修人员的素质要求也越来越高。

本书正是从数控机床的实用性故障诊断与维修技术角度出发，以主流数控产品为主线，从数控机床的应用入手，以典型数控系统、伺服系统、检测装置以及常见机械结构的原理分析为核心，深入浅出地阐明了数控机床维修的内容、特点，全面系统地叙述了数控系统的工作原理、故障诊断与维修的基本方法和步骤、常用故障诊断仪器、数控设备维修技术等内容。本书从选材到内容结构的安排上力求做到简明、实用，理论内容以应用为目的，强调针对性和实用性，突出解决实际问题的具体办法，强调学以致用。本书对主流 FANUC 系统以及与之配套的直流伺服驱动、交流模拟/数字伺服驱动、直流主轴驱动、交流模拟/数字主轴驱动，以及主轴定位控制的工作原理、连接信号、设定参数、调整方法、诊断步骤与维修措施等方面作了较全面的介绍。

全书共分七章。第一章为数控机床概述；第二章为数控系统，包括 CNC 的基本检查与测试；第三章为数控系统的检测装置；第四章为伺服系统，包括 CNC 故障诊断与维修、直流伺服驱动的维修、直流/交流模拟主轴驱动的维修、交流数字主轴驱动的维修；第五章为典型数控机床的机械结构；第六章为数控设备维修方法；第七章为数控系统维修技术。

本书可作为高等职业技术教育、大中专机电一体化专业、数控技术应用专业、机械设备与自动化专业的教材，也可作为从事数控机床维修工作的工程技术人员的参考用书和企业培训数控机床维修人员的培训教材。

本书由湖南生物机电职业技术学院刘晓魁主编(第二章、第四章、第七章)，湖南生物机电职业技术学院袁金诚(第一章的前四节、第五章)、王少华(第六章和第一章的第五节)为副主编，湖南铁道职业技术学院陈顺科(第三章)参加编写。由于编者水平有限，经验不足，书中定有不少错误与不当之处，恳请读者予以批评指正。

编 者

# 目 录

第一章 数控机床概述.....	(1)
第一节 数控机床的组成及工作原理.....	(1)
1.1.1 数控机床的工作原理 .....	(1)
1.1.2 数控机床的基本组成 .....	(2)
第二节 数控机床的分类.....	(5)
1.2.1 按机床运动的控制轨迹进行分类 .....	(5)
1.2.2 按伺服控制的方式进行分类 .....	(7)
1.2.3 按数控系统的功能水平分类 .....	(8)
1.2.4 按加工工艺及机床用途的类型分类 .....	(9)
1.2.5 数控机床的坐标系 .....	(9)
第三节 数控机床的优势、特点及适用范围 .....	(11)
1.3.1 采用数控机床加工的优势及特点.....	(11)
1.3.2 数控机床的适用范围.....	(12)
第四节 数控机床的加工工艺及编程步骤 .....	(13)
1.4.1 工序的划分.....	(13)
1.4.2 编制加工程序的内容及步骤.....	(13)
1.4.3 工件的安装和对刀点的确定.....	(14)
1.4.4 确定加工路线.....	(15)
1.4.5 切削用量及刀具的选择.....	(15)
1.4.6 数值计算.....	(16)
第五节 数控车床的编程 .....	(17)
1.5.1 数控车床的编程基础.....	(17)
1.5.2 数控车床的基本编程功能.....	(18)
1.5.3 数控车床的基本编程方法.....	(20)
1.5.4 固定循环功能.....	(23)
1.5.5 螺纹切削.....	(28)
第二章 数控系统 .....	(32)
第一节 数控装置的硬件构成 .....	(32)
2.1.1 数控(CNC)系统的基本概念 .....	(32)
2.1.2 数控装置基本性能.....	(33)

2.1.3	数控系统的组成及各部分的作用.....	(35)
2.1.4	数控装置的构成.....	(36)
第二节	数控装置的体系结构.....	(39)
2.2.1	专用计算机组成的数控体系结构.....	(40)
2.2.2	PC 数控体系结构.....	(41)
第三节	数控系统的软件结构.....	(44)
2.3.1	概述.....	(44)
2.3.2	前后台型的软件结构.....	(45)
2.3.3	中断型软件结构.....	(50)
2.3.4	功能模块软件结构.....	(54)
2.3.5	数控机床的插补原理——逐点比较法.....	(55)
2.3.6	刀具补偿.....	(61)
2.3.7	软件故障排除.....	(61)
第四节	常见数控产品介绍.....	(63)
2.4.1	FANUC 公司数控装置概述.....	(63)
2.4.2	SIEMENS 数控系统介绍.....	(65)
2.4.3	FANUC0C 硬件结构.....	(68)
2.4.4	SIEMENS 802 系列系统构成.....	(73)
2.4.5	SINUMERIK810/820 系统构成.....	(73)
2.4.6	SIEMENS SIN840C 系统的硬件.....	(80)
第五节	PLC 在数控机床上的应用.....	(83)
2.5.1	数控机床上 PLC 的功能.....	(83)
2.5.2	数控机床上 PLC 的形式.....	(84)
2.5.3	FANUC PMC 的指令.....	(85)
2.5.4	PLC 在数控机床控制中的应用.....	(94)
2.5.5	PLC 故障诊断方法.....	(104)
2.5.6	PLC 故障维修案例.....	(105)
第三章	数控系统的检测装置.....	(107)
第一节	概 述.....	(107)
3.1.1	数控检测装置基本知识.....	(107)
3.1.2	分类.....	(107)
第二节	脉冲编码器.....	(108)
3.2.1	分类与规格.....	(108)
3.2.2	增量式脉冲编码器.....	(108)
3.2.3	绝对式脉冲编码器.....	(110)
3.2.4	混合式编码器.....	(111)
3.2.5	主轴编码器.....	(111)
3.2.6	手摇脉冲发生器.....	(113)

3.2.7 主轴准停控制 .....	(114)
第三节 旋转变压器.....	(117)
3.3.1 结构和工作原理 .....	(117)
3.3.2 旋转变压器的应用 .....	(118)
第四节 感应同步器.....	(118)
3.4.1 基本原理与结构 .....	(118)
3.4.2 感应同步器的检测系统 .....	(119)
3.4.3 感应同步器的特点及安装使用注意事项 .....	(122)
第五节 光 栅.....	(122)
3.5.1 光栅的种类与精度 .....	(122)
3.5.2 工作原理 .....	(124)
3.5.3 光栅检测装置 .....	(126)
第六节 磁 栅.....	(127)
3.6.1 磁性标尺 .....	(127)
3.6.2 磁头 .....	(127)
第七节 位置检测装置故障及诊断.....	(130)
3.7.1 故障形式 .....	(130)
3.7.2 位置检测元件的维护 .....	(130)
3.7.3 位置检测装置的故障诊断 .....	(132)
第四章 伺服系统.....	(133)
第一节 伺服系统概述.....	(133)
4.1.1 伺服系统的组成 .....	(133)
4.1.2 对伺服系统的基本要求 .....	(134)
4.1.3 伺服系统的分类 .....	(136)
第二节 步进电动机及其驱动控制系统.....	(139)
4.2.1 步进电动机的种类、结构及其工作原理 .....	(139)
4.2.2 步进电动机与微机的接口技术 .....	(143)
第三节 直流伺服电动机及其速度控制.....	(145)
4.3.1 直流伺服电动机的基本结构及分类 .....	(145)
4.3.2 晶闸管速度控制单元 .....	(148)
4.3.3 直流主轴驱动系统 .....	(154)
4.3.4 晶体管直流脉宽(PWM)调速系统.....	(158)
4.3.5 直流伺服电机的连接 .....	(164)
第四节 交流伺服电动机及其速度控制.....	(166)
4.4.1 交流伺服电动机 .....	(166)
4.4.2 变频调速技术 .....	(171)
4.4.3 交流模拟主轴驱动系统 .....	(178)
第五节 典型产品伺服系统分析.....	(185)

4.5.1	FANUC 交流模拟伺服系统分析 .....	(185)
4.5.2	FANUC 交流数字伺服驱动系统分析 .....	(195)
4.5.3	SIMDRIVE611A 伺服单元的结构及工作原理 .....	(204)
<b>第六节</b>	<b>交流伺服电机检查</b> .....	<b>(208)</b>
4.6.1	交流伺服电机的检查 .....	(208)
4.6.2	脉冲编码器的更换 .....	(209)
4.6.3	转子位置的调整 .....	(210)
4.6.4	电机过热的故障案例 .....	(210)
<b>第五章</b>	<b>典型数控机床的机械结构</b> .....	<b>(213)</b>
<b>第一节</b>	<b>数控车床的机械结构</b> .....	<b>(213)</b>
5.1.1	数控车床的机械结构组成 .....	(213)
5.1.2	数控车床进给系统的机械传动结构 .....	(215)
5.1.3	数控车床的主轴及其机械结构 .....	(223)
5.1.4	数控车床的辅助装置 .....	(225)
<b>第二节</b>	<b>数控铣床的典型结构</b> .....	<b>(229)</b>
5.2.1	数控铣床概述 .....	(229)
5.2.2	数控铣床的传动系统与结构 .....	(231)
<b>第三节</b>	<b>加工中心的机械结构</b> .....	<b>(239)</b>
5.3.1	加工中心的特点 .....	(239)
5.3.2	加工中心的分类 .....	(240)
5.3.3	加工中心的结构 .....	(242)
5.3.4	加工中心的主轴部件 .....	(244)
5.3.5	加工中心的伺服与进给系统 .....	(245)
5.3.6	加工中心的其他装置 .....	(246)
<b>第四节</b>	<b>数控电加工机床</b> .....	<b>(250)</b>
5.4.1	电火花加工原理 .....	(250)
5.4.2	数控电火花机床 .....	(251)
5.4.3	数控线切割机床 .....	(251)
<b>第五节</b>	<b>床体故障诊断维修方法</b> .....	<b>(252)</b>
5.5.1	故障诊断 .....	(252)
5.5.2	液压与气压系统的故障及维修 .....	(254)
5.5.3	主传动系统常见故障及排除方法 .....	(258)
5.5.4	进给伺服系统的常见故障及诊断方法 .....	(258)
5.5.5	滚珠丝杠副的常见故障及排除方法 .....	(259)
5.5.6	导轨副的常见故障及排除方法 .....	(260)
5.5.7	刀库及换刀机械手的常见故障和维护 .....	(261)
5.5.8	回转工作台的常见故障及排除方法 .....	(262)

---

第六章 数控设备维修方法.....	(263)
第一节 数控系统维修的基础.....	(263)
6.1.1 现代数控系统维修的基本条件 .....	(263)
6.1.2 现代数控系统维修的阶段划分与维修的实施 .....	(264)
6.1.3 技术资料的种类 .....	(264)
6.1.4 必要的维修用器具 .....	(265)
6.1.5 必要的备件 .....	(266)
6.1.6 故障发生时的处理 .....	(266)
第二节 数控机床的日常维护.....	(267)
6.2.1 机械部分的检查调试 .....	(267)
6.2.2 液压系统的检查调整 .....	(268)
6.2.3 润滑部分的检查调整 .....	(268)
6.2.4 气动系统的检查调整 .....	(268)
6.2.5 伺服电机和主轴电机的检查 .....	(268)
6.2.6 电气部分的维护保养 .....	(269)
6.2.7 数控系统中硬件部分的检查调整 .....	(269)
6.2.8 测量反馈元件的检查 .....	(269)
6.2.9 可编程机床控制器(PMC)的检查 .....	(270)
第三节 故障诊断方法.....	(270)
6.3.1 数控系统故障诊断的一般方法 .....	(270)
6.3.2 数控设备故障诊断的一般步骤 .....	(271)
6.3.3 常见故障分析 .....	(271)
第四节 常用的故障自诊断技术.....	(273)
6.4.1 开机自诊断 .....	(274)
6.4.2 运行自诊断 .....	(274)
6.4.3 脱机诊断 .....	(275)
6.4.4 SINUMERIK 远程诊断 .....	(275)
第五节 数控系统板级维修技术.....	(276)
6.5.1 功能程序测试法 .....	(276)
6.5.2 参数检查法 .....	(276)
6.5.3 交换法 .....	(277)
6.5.4 备板置换法 .....	(277)
6.5.5 隔离法 .....	(278)
6.5.6 直观法 .....	(278)
6.5.7 升降温法 .....	(278)
6.5.8 敲击法 .....	(278)
6.5.9 对比法 .....	(279)
6.5.10 原理分析法.....	(279)

第六节 数控系统片级维修技术.....	(279)
6.6.1 外观法 .....	(279)
6.6.2 电源检查法 .....	(280)
6.6.3 静态测量法 .....	(281)
6.6.4 动态测量法 .....	(282)
6.6.5 在线测试法 .....	(282)
6.6.6 汇编语言测试法 .....	(284)
6.6.7 模拟台测试法 .....	(285)
第七节 常用故障诊断仪器.....	(285)
6.7.1 逻辑测试笔 .....	(285)
6.7.2 短路故障追踪仪 .....	(286)
6.7.3 集成电路测试仪 .....	(287)
6.7.4 逻辑分析仪 .....	(289)
6.7.5 存储器测试仪 .....	(293)
6.7.6 特征代码分析仪 .....	(293)
6.7.7 激光干涉仪 .....	(294)
6.7.8 球杆仪 .....	(295)
第七章 数控系统维修技术.....	(297)
第一节 FANUC0C 检查与测试 .....	(297)
7.1.1 CNC 系统的常规检查 .....	(297)
7.1.2 CNC 的电源性能检查 .....	(298)
7.1.3 I/O 信号的正确性诊断 .....	(300)
7.1.4 CNC 参数的设置与调整 .....	(303)
第二节 FANUC0C 系统故障诊断与维修 .....	(309)
7.2.1 根据 CNC 报警号的故障维修 .....	(309)
7.2.2 CNC 无报警显示的故障诊断与维修 .....	(315)
7.2.3 FS0 CNC 故障维修案例 .....	(319)
第三节 SINUMERIK 系统的故障维修 .....	(327)
7.3.1 SINUMERIK 810/820 系统的自诊断功能及报警处理方法 .....	(327)
第四节 FS0 主轴驱动的维修 .....	(329)
7.4.1 S 系列交流数字主轴驱动 .....	(329)
7.4.2 $\alpha$ 系列交流数字主轴驱动器 .....	(334)
7.4.3 FS0 主轴定位控制 .....	(346)
7.4.4 主轴驱动故障维修案例 .....	(352)
第五节 进给伺服系统故障及诊断.....	(358)
7.5.1 进给伺服系统结构形式 .....	(358)
7.5.2 进给伺服系统的故障形式及诊断方法 .....	(360)
7.5.3 伺服驱动故障维修案例 .....	(362)

---

第六节 易损部件的原理与维修.....	(371)
7.6.1 输入单元的原理与维修 .....	(371)
7.6.2 电源单元的原理与维修 .....	(375)
参考文献.....	(379)

# 第一章 数控机床概述

当我们来到实习工厂或机械加工厂的生产车间时，会看到一些机床能自动完成工件的安装、刀具的更换、刀架或工作台的移动等在普通机床上需要工人操作才能完成的动作，这些机床就是数控机床。

数控机床是用数字化信号控制的机床，或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟第五届技术委员会对数控机床的定义是：数控机床是一个装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序。定义中的该控制系统就是数控系统。数控机床仍然属金属切削机床的范畴。而其中能自动更换刀具的数控机床称为加工中心。

优质、高产、低耗是企业生产必须遵循的准则。随着社会生产和科学技术的发展，机械产品日趋精密复杂，且需频繁改型，特别是宇航、造船、军事领域所需的工件，精度要求高、形状复杂、批量小。普通机床、专用机床、机械控制的自动机床已不能适应这些需要。为了满足上述需要，一种新型的机床——数字程序控制机床(简称数控机床)应运而生。

1947年，美国的Parsons公司为了提高飞机工件的靠模和机翼检测样板的精度及效率，提出了用数字信号来控制机床的设想。1952年，美国麻省理工学院和Parsons公司成功研制出世界上第一台试验性的数控机床。1954年11月，第一台工业用的数控机床生产了出来。

从此以后，世界其他工业国家也开始开发、生产及应用数控机床，其中日本和德国在数控机床领域发展最为迅速。我国的数控机床研制是从1958年起步的，与发达国家尚有一定差距。

## 第一节 数控机床的组成及工作原理

### 1.1.1 数控机床的工作原理

数控机床是如何工作的呢？简言之就是用数字信号来控制机床的运动。机床的所有运动包括主运动、进给运动和各種辅助运动，都是用输入到数控装置的数字信号来控制的。

数控机床的工作过程，即机械工件的加工过程如图1-1-1所示。其主要步骤是：

(1)根据被加工工件的形状、尺寸、材料及技术要求等制定工件加工工艺过程，确定刀具相对工件的运动轨迹、切削参数以及辅助动作顺序等，进行工件加工程序设计；

(2)用规定的代码和程序格式编写工件加工程序单；

(3)按照程序单上的代码制作控制介质；

(4)通过输入装置将控制介质上的加工程序输入给数控装置；

(5)启动机床后，数控装置根据输入的信息进行一系列的运算和控制处理，将结果以脉冲的形式送往机床的伺服机构；

(6) 伺服机构驱动机床的运动部件按程序预定的轨迹运动，从而加工出合格的工件。

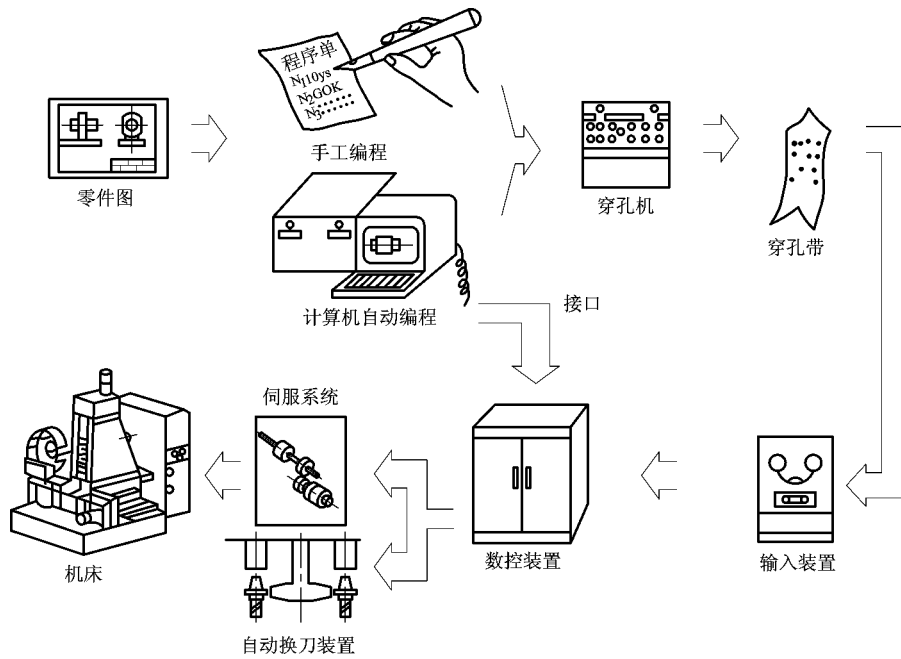


图 1-1-1 数控机床的工作原理

### 1.1.2 数控机床的基本组成

数控机床大体有控制介质、输入装置、数控装置、伺服系统(包括检测系统)、辅助控制装置和机床本体组成，如图 1-1-2 所示。

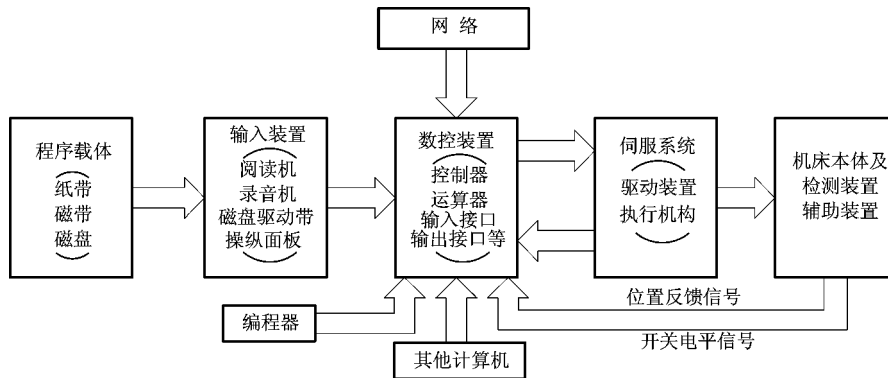


图 1-1-2 数控机床的组成框图

#### 1. 控制介质

控制介质是指将工件加工信息传送到数控装置去的程序载体。控制介质有多种形式，它

随着数控装置的类型不同而不同,主要有:穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等。近年来,穿孔纸带和穿孔卡已经很少使用。现在的数控机床大都利用键盘直接将数控程序输入,还可以利用CAD/CAM软件先在计算机上编写程序,然后通过计算机与数控系统通信,将数控加工程序直接传送给数控装置。

## 2. 输入装置

输入方式不同输入装置也不同。输入方式有三种。

(1)控制介质输入。所谓控制介质就是数控信息的物质载体,主要有穿孔纸带、磁带、磁盘等;相应的输入装置是光电纸带阅读机、录音机、磁盘驱动器等。

(2)手工输入。利用键盘和显示器,将控制机床和刀具运动的指令直接输入到数控系统中。手工输入有三种方法,一种是手工数据输入(Manual Date Input, MDI),即通过机床数控装置操作面板的按键,把数控程序指令逐条输入存储器中,这种方法一般只适用于一些较为简短的加工程序的输入;另一种是在数控显示装置的程序编辑界面,利用数控装置面板上的按键或键盘输入加工程序指令并存入内存中,用这种方法还可以调出已存入数控系统的加工程序并对其进行编辑和修改;第三种方法是在有对话功能软件的数控装置上,根据软件的逻辑格式和显示屏上的对话提示,选择不同的菜单,输入有关的数字和信息后,自动生成加工程序并存入内存,这种方法虽然是手工输入,但却是自动编程。图文交互自动编程是目前广泛采用的另一种自动编程方式。图文交互自动编程是利用CAD软件的图形编辑功能将工件的几何图形绘制到计算机上,形成工件的图形文件,然后调用数控编辑软件模块,采用人机交互的方式在计算机屏幕上指定工件的被加工部位,通过键盘手工输入相应的加工参数后,计算机自动编制出数控加工程序。

此外,还可通过手动操作操作界面上的一些控制开关、按钮,对数控机床进行某些控制,例如数控机床上的速度倍率开关、手动进给按钮等。即手工输入方式相应的输入装置为数控装置的操作面板、键盘开关、按钮等。

(3)通信输入。从自动编程机上、其他计算机上或网络上,通过通信接口将编制好的数控加工程序直接输入到数控装置的存储器中。相应的输入装置为通信口。

## 3. 数控装置

数控系统是数控机床的控制核心。它通常由一台带有专门系统软件的专用微机构成,能自动阅读输入载体上事先给定的程序,并将其译码,用来控制机床动作,加工工件。它由专用软件和硬件两大部分组成,软件在硬件支持下运行。

硬件包括输入、输出装置、通用I/O口、CPU、存储器、可编程序控制器(Programmable Logic Controller, PLC)及数字通信接口等。采用单微机处理机数控装置的硬件结构如图1-1-3所示。

软件包括管理软件和控制软件。管理软件用来管理工件加工程序的输入、输出,显示工件加工程序、刀具位置、系统参数及报警,诊断数控装置是否正常并检查故障原因。控制软件则完成译码、刀具补偿、插补运算、位置控制等。

数控装置的主要功能是读入数据、存储、运算处理,从而产生控制信息来控制机床按确定的顺序和设定的条件运动。

纸带阅读机接口和通用输入接口接受纸带阅读机及手工输入或上位机传来的加工程序,经过识别和译码后分别送到相应的存储器,作为控制与运算的依据。控制器接受这些输入的

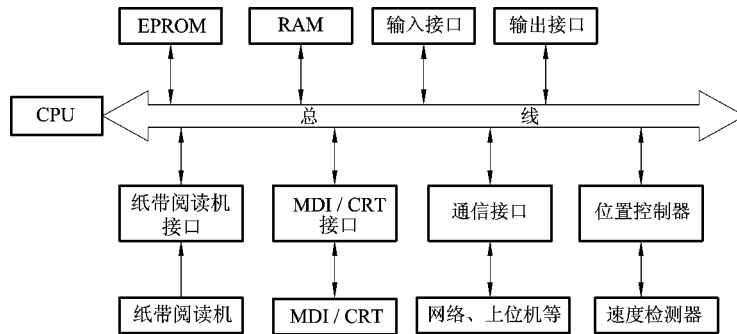


图 1-1-3 数控装置硬件结构示意图

指令，控制运行和运算。早期的数控系统控制和运算依靠专用计算机固定硬件结构来完成，称为硬件数控或硬联结数控，又称为 NC 数控。现在的数控系统几乎全都采用微型计算机，又称为 CNC 数控。微机的 CPU 把运算器、控制器集成在芯片上。运算器最基本的工作就是进行插补运算和刀具轨迹运算。系统将位置检测器测得的实际位置与插补运算后的坐标位置进行比较，产生控制指令。微机拥有大容量存储器，只读存储器存放系统控制程序，随机存储器存放系统运行的工作参数及用户的工件加工程序；控制运行和运算都是通过软件来实现的，这种数控装置称为软件数控或软联结数控。输入、输出 I/O 接口也都采用集成电路，可以实现数字信号与电量信号之间的转换。控制器发出的指令通过输出接口把控制信号输送到伺服系统进而控制机床动作。机床输入接口接收检测装置反馈信号并输送到数控装置；另外还接收操作面板上的各种开关、按钮及机床各种限位开关的电平信号。

#### 4. 伺服系统

伺服系统包括驱动系统、执行机构及位置、速度反馈装置。伺服电机是伺服系统的执行机构，驱动装置则是伺服电机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为方向、速度和位移指令，经过驱动系统的功率放大后驱动电动机运转，通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。指令信息是以脉冲信息体现的，每一脉冲使机床移动产生的位移量叫脉冲当量(常用的脉冲当量为  $0.001\sim 0.01\text{mm}/\text{脉冲}$ )。

目前数控机床的伺服系统中，常用的位移执行装置有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机，后两者均带有光电编码器等位置测量元件。

#### 5. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置、机床机械和液压部件之间的强电控制装置。它接受数控装置发出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号，经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动各种交流电动机、液压系统的电磁阀及电磁离合器等。此外，有些开关信号经它送数控装置进行处理。

#### 6. 机床本体

数控机床的机床本体是指其机械结构实体，又称光机。它与传统的机床相比较，同样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成，但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都有很大的变化。为了满足数控技术的要求

和充分发挥数控机床的特点，数控机床本体与普通机床在以下方面有不同：

- (1)采用高性能主传动部件。具有传递功率大、刚性好、抗振性好及热变形小等优点。
- (2)进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，如采用滚珠丝杆副、直线滚动导轨等传动件。
- (3)具有完善的刀具自动交换和管理系统。
- (4)在加工中心上还有刀具自动交换、夹紧和放松机构。
- (5)机床本体有很高的动、静刚度。
- (6)机床采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工，为了操作安全等，一般采用移动门结构的全封闭罩壳，对机床的加工部位进行全封闭。

## 第二节 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构，按下面四种原则进行分类。

### 1.2.1 按机床运动的控制轨迹进行分类

#### 1. 点位控制的数控机床

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位，对于点与点之间的运动轨迹的要求并不严格，在移动过程中不进行加工，各轴之间的运动是不相关的。为了实现既快又精确的定位，两点间位移的移动一般先快速移动，然后慢速趋近定位点，以保证定位精度。图 1-2-1 所示为点位控制的运动轨迹。

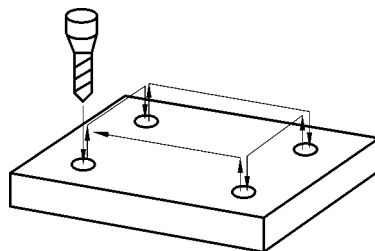


图 1-2-1 数控机床的点位加工轨迹

具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低，单纯用于点位控制的数控系统已不多见。

#### 2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床也称为平行控制数控机床，其特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹)，但其运动路线只是与机床坐标轴平行移动，也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必有插补运算功能)，在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削，一般只能加工矩形、台阶形工件。

具有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。同样，单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

#### 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床，其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求，必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。

因此在这类控制方式中,就要求数控装置具有插补运算功能。所谓插补就是根据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),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或圆弧的形状描述出来,也就是一边计算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。在运动过程中刀具对工作表面连续进行切削,可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。轮廓控制的加工轨迹如图 1-2-2 所示。

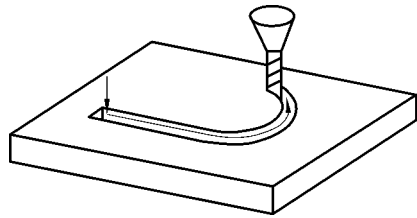


图 1-2-2 数控铣床的轮廓加工轨迹

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。根据它所控制的联动坐标轴数不同,又可以分为下面几种形式。

①二轴联动。主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面。

②二轴半联动。主要用于三轴以上机床的控制,其中两根轴可以联动,而另一根轴可以作周期性进给。图 1-2-3 所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

③三轴联动。一般分为两类,一类就是  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴联动,比较多地用于数控铣床、加工中心等,如图 1-2-4 所示,用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  其中两个直线坐标外,还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心,它除了纵向( $Z$ 轴)、横向( $X$ 轴)两个直线坐标轴联动外,还需同时控制围绕  $Z$  轴旋转的主轴( $C$ 轴)联动。

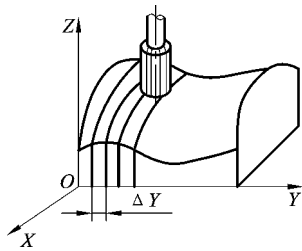


图 1-2-3 二轴半联动的曲面加工

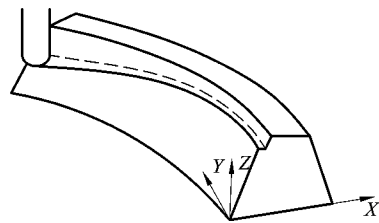


图 1-2-4 三轴联动的加工曲面

④四轴联动。同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动,图 1-2-5 所示为同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

⑤五轴联动。除同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  坐标轴中的两个坐标轴,形成同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向,如图 1-2-6 所示。比如控制刀具同时绕  $X$  轴和  $Y$  轴两个方向摆动,使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向,以保证被加工曲面的光滑性,提高其加工精度和加工效率,减小被加工表面的粗糙度值。