

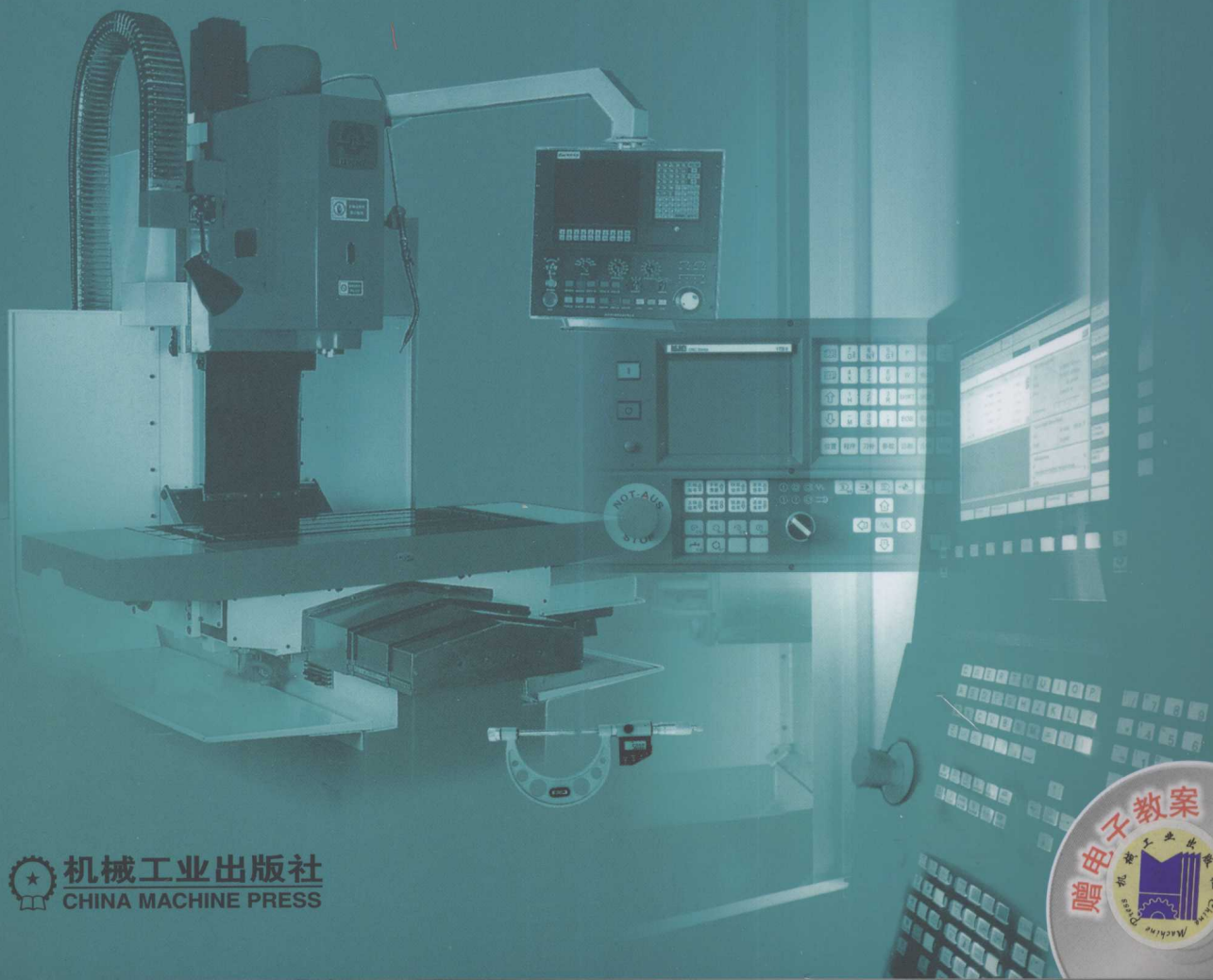


高等职业技术教育规划教材
机电一体化——数控技术应用专业

数控机床 控制技术与系统

第2版

王侃夫 主编



高等职业技术教育规划教材

机电一体化——数控技术应用专业

数控机床控制技术与系统

第 2 版

主编 王侃夫
参编 周 莉 王 芳
主审 宋又廉



机械工业出版社

本书是高等职业技术教育规划教材之一。它在第1版的基础上作了较大幅度的修订。本书系统地介绍了数控机床的基本组成、位置检测装置、驱动电动机、驱动装置、数控系统及功能、数控机床伺服系统、数控机床PLC、典型数控系统介绍、数控机床控制技术应用实例及数控机床故障诊断等方面的基础知识。其中,数控机床控制技术应用实例便于读者将所学知识综合化,且具有一定的工程应用性。

本书内容丰富,层次清晰,重点突出,重视实践技能的培养。在取材上,本书通过大量实例介绍,力求使理论联系实际,并兼顾新技术、新知识在机床数控技术中的应用。本书每章均有小结和复习思考题。

本书可作为高等职业技术教育、大中专及职大数控技术专业、机电一体化专业的教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床控制技术与系统/王侃夫主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2007. 8

高等职业技术教育规划教材. 机电一体化——数控技术应用专业
ISBN 978 - 7 - 111 - 09213 - 1

I. 数… II. 王… III. 数控机床 - 控制系统 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 106906 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: 李超群 责任编辑: 郑丹
汪光灿

版式设计: 冉晓华 责任校对: 吴美英

封面设计: 姚毅 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 9 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 398 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 09213 - 1

定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

第2版编者的话

本书是在2002年出版的职业技术教育教材《数控机床控制技术与系统》(机电一体化——数控机床加工技术专业)的基础上,根据当今高新技术的发展和职业教育人才培养更注重现场技术的特点而进行修订的。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》及《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》在振兴装备制造业方面,对数控机床的制造和应用提出了更高、更新的要求。

当今高新技术发展对本课程的影响有:

- 1) 交流伺服取代了直流伺服。
- 2) 全数字式数控系统得到广泛应用,软件功能逐渐取代了硬件功能,数字调节取代了模拟调节。
- 3) 以电主轴和直线电动机为代表的高速、高精度数控机床得到了很大发展。

基于以上情况,本书修订时,在数控伺服系统方面,加强了对交流伺服电动机及交流伺服驱动技术等知识的介绍,对伺服系统的结构组成、性能、参数调节等内容进行了适当的补充;在数控系统方面,通过对典型系统的介绍,增加了接口信号、系统连接及全数字式数控系统等内容;在保持基本知识介绍的基础上,增加了电主轴和直线电动机等新技术方面知识的介绍。

为适应当前职业技术教育更注重现场技术应用的特点,本书在修订时,对内容进行了整合,从现场岗位角度出发,阐述数控机床控制的过程、组成、性能分析和调试,突出实际应用。在内容取舍上,删除了柔性制造系统的内容,新增加了数控机床故障诊断内容。这基于两个方面的考虑,一是让本书更贴近实际应用;二是故障诊断也是数控机床控制技术的具体应用。此外,考虑到可编程序控制器(PLC)有专门的教材,所以修订时删除了有关数控机床可编程序控制器概述的内容,并将FANUC PLC指令归入附录。

本书根据编者的工程实践和教学经验,从数控机床组成的角度出发,系统地介绍了数控机床控制技术及系统的基础知识。在深度和广度上,一方面注意知识面和知识点的掌握程度;另一方面注意与系列教材的衔接,同时兼顾新技术和新知识在机床数控技术中的应用,通过大量实例介绍,强调知识的实际应用,以适应职业教育的教学特点。

本书共分十章,每章均有小结和复习思考题。第一章通过和普通机床的比较,介绍数控机床控制系统的基本组成及控制原理;第二章介绍数控机床常用位置检测装置的种类、作用、安装及信号形式;第三章介绍数控机床进给电动机和主轴电动机;第四章介绍进给驱动装置和主轴驱动装置;第五章介绍数控系统的基本功能及功能的实现方式,数控系统软、硬件的基本组成,突出数控机床位置控制的实质;第六章介绍数控机床位置伺服系统的类型,运行和调试中所涉及的一些基本参数;第七章介绍数控机床开关量控制及PLC在数控机床中的应用;第八章介绍FANUC和SIEMENS等典型数控系统的组成及性能特点;第九章通过具体工程实例,介绍普通机床的数控化改造、数控机床电气配置及PLC控制流程,具有一定的操作性和实践性;第十章通过实例介绍数控机床常见的故障类型及故障诊断的方法,体

现数控机床控制技术与系统的综合应用。

本书参考学时范围为 56~64 学时,有关章节内容可根据专业要求和学时情况酌情调整。本书在使用过程中应注意以下几方面的问题:

1) 由于本课程涉及的知识面较广,因此,对有关问题的阐述应从整体上加以考虑,注意数控机床控制系统各部分之间的联系,信号输入、输出,信号性质及信号的处理方式,突出重点,注意知识点和知识面的结合。

2) 本书在编写过程中,适当将有关知识点的介绍放入习题中,因此,在做这类习题时,应注意背景资料的介绍。

3) 教材的内容组织是以数控机床组成为依据的,编写第九章的目的就是要将有关内容综合起来,因此,第九章的内容既可放在后阶段学习时参考,也可穿插在有关章节中作为参考。

本书可作为职业技术教育、高职高专数控技术专业、机电一体化专业的教学用书,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员参考书。

本书由王侃夫(第一、四、五、七、八、九和十章,附录 A、C 和 D),王芳(第六章,附录 B),周莉(第二、三章)编写。王侃夫任主编,宋又廉教授任主审。

本书在编写过程中得到了同济大学金洵浩教授、上海开通数控有限公司汤季安教授级高级工程师、上海电气(集团)上海电机厂有限公司柴家隆副总工程师、上海明精机床有限公司上海重型机床厂陈建新高级工程师、上海宏赛自动化电气有限公司杨军辉高级工程师、中国纺织机械股份有限公司唐兹民高级工程师、上海汽轮机厂有限公司李斌高级工程师的大力支持和帮助;还得到了上海电机学院梁森、杨卫平、龚建芳和刘桂英等老师的热情帮助,在此表示衷心的感谢。同时,还得到了下列单位的大力支持和帮助:上海市职业培训指导中心、上海三菱电梯有限公司、上海航天设备制造总厂、德马吉(DMG)中国公司、南通机床厂、浙江日发数码精密机械股份有限公司等,在此一并表示感谢。

编者特别感谢主审宋又廉教授,他对本教材的编写大纲、内容选择、知识点介绍和图形表示等提出了许多有益的建议和实施方案,使编者受益匪浅,促使本教材第2版较第1版有所提高,富有特色。

本书自 2002 年出版以来,得到了广大读者的热情帮助和支持,这次修订虽然花费了不少精力,但由于编者水平有限,仍有许多不足之处,恳请广大读者批评指正,并欢迎您把对本书的意见和建议通过 E-mail (skwangkf@126.com) 告诉我们,不胜感谢。

编 者

第1版编者的话

本书是根据上海市教育委员会职业教育课程改革及示范教材的编写要求,于1998年10月制定通过的编写大纲编写的,是数控加工类专业系列教材之一。

数控机床是机电一体化的典型产品,综合了计算机、自动控制、电动机与拖动、电子和电力、自动检测、气液压及精密机械等方面的技术。数控机床的高精度、高效率及高柔性决定了发展数控机床是当前我国机械制造业技术改造的必由之路,是未来工厂自动化的基础。随着数控机床的大量使用,在职业教育数控专业和其他机电专业中普及数控机床控制技术及系统的基础知识就显得尤为重要。同时,通过机床数控技术基础的学习,对提高学生的知识综合应用能力有很大的帮助。

本书根据编者的实践和教学经验,从数控机床组成这一角度出发,系统地介绍了数控机床控制技术及系统的基础知识。在深度和广度上,一方面注意知识面和知识点的掌握程度;另一方面注意本教材与系列教材中其他课程的衔接,同时兼顾新技术和新知识在机床数控技术中的应用。通过大量实例介绍,强调知识的实际应用,以适应职业教育的教学特点。

本书共分十章,每章均附有小结、复习思考题。第一章介绍了数控机床控制系统的基本组成及控制原理;第二章介绍了数控机床常用位置检测装置的种类、作用、安装及信号形式;第三、四章介绍了数控机床中主轴及进给驱动电动机的种类及相应驱动装置的控制方式;第五章综合了第二、三和四章的基础知识,突出数控机床位置控制的实质及数控机床运行、调试中所涉及到的一些基本参数;第六、七章介绍了数控系统软、硬件的基本组成及功能,典型数控系统的组成和控制特点;第八章介绍了数控机床开关量控制及可编程序控制器(PLC)在数控机床中的应用;第九章介绍了以数控机床为基础的柔性制造系统(FMS)的物流、信息流及质量控制等方面的基本知识;第十章以上述内容为基础,通过具体工程实例,突出数控机床控制技术及系统的综合应用,具有一定的实践性和操作性。

本教材参考学时范围为90~96课时,有关章节内容可根据专业要求及学时情况酌情调整。本教材在使用过程中应注意以下几方面的问题:

- 1) 由于本课程涉及的知识面较广,因此,对有关问题的阐述应从整体上加以考虑,注意数控机床控制系统各部分之间的联系,信号的输入、输出,信号性质及信号的处理方式。同时,本着“够用”、“必需”的原则,根据实际情况,突出重点,注意知识点和知识面的结合。

- 2) 本教材在编写过程中,适当将有关知识点的介绍放入习题中,因此,在做这类习题时,应注意背景资料的介绍。

- 3) 教材的内容组织是以数控机床组成为依据的,编写第十章的目的就是要将有关章节内容综合起来,因此,第十章的内容既可在最后学习时参考,也可穿插在有关章节中作为参考。

本书可作为职业技术教育、高职高专及职大数控技术应用专业、机电一体化专业的教学用书,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员的参考书。

本书由王侃夫（第一、二、三、四、五章和第十章第一节），刘军（第六、七章和第十章第二节），汪烨（第八章），唐兹民（第九章）编写。王侃夫任主编，茅祖相任主审。

本书在编写过程中得到了以下单位的大力支持和帮助：上海开通数控有限公司、中国纺织机械股份有限公司上海第一纺织机械厂、上海重型机床厂、上海汽轮机有限公司、上海重型机器厂、上海第二机床厂、上海第四机床厂、上海三菱电梯有限公司和上海日立电动工具有限公司等。上海电机技术高等专科学校的机床数控实验室、CAD/CAM 实训基地为本书中的有关数据进行了验证，该校杨卫平老师为本书提供了有关资料并提出了很多宝贵意见，编者在此一并致谢。

限于编者的水平，书中难免存在错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

第2版编者的话

第1版编者的话

第一章 概论	1
第一节 数控机床控制系统的构成	1
第二节 数控机床的分类	7
第三节 现代数控技术及发展	9
本章小结	13
复习思考题	13
第二章 位置检测装置	14
第一节 概述	14
第二节 角编码器	15
第三节 光栅	23
第四节 磁栅及磁阻位移测量装置	28
第五节 感应同步器和旋转变压器	31
本章小结	35
复习思考题	35
第三章 驱动电动机	36
第一节 进给电动机与丝杠的连接	36
第二节 步进电动机	37
第三节 伺服电动机	41
第四节 主轴电动机	48
本章小结	53
复习思考题	53
第四章 驱动装置	55
第一节 步进驱动装置	55
第二节 晶闸管直流驱动装置	58
第三节 晶体管直流脉宽调制驱动装置	71
第四节 交流伺服驱动装置	76
第五节 交流主轴驱动装置	85
本章小结	95
复习思考题	95
第五章 数控系统及功能	98

第一节 数控系统的组成及功能	98
第二节 数控功能的实现	101
第三节 数控系统的软硬件	109
第四节 数控系统中的通信接口	116
本章小结	119
复习思考题	120
第六章 数控机床伺服系统	121
第一节 伺服系统类型及性能	121
第二节 伺服性能的影响因素及参数	129
第三节 主轴定向控制	135
本章小结	138
复习思考题	138
第七章 数控机床 PLC	140
第一节 数控机床 PLC 的控制对象	140
第二节 数控机床 PLC 的形式	141
第三节 PLC 在数控机床控制中的应用	146
本章小结	155
复习思考题	155
第八章 典型数控系统介绍	161
第一节 FANUC 0 数控系统	161
第二节 SIEMENS 数控系统	167
第三节 开放式数控系统	179
第四节 全数字式数控系统	182
本章小结	185
复习思考题	186
第九章 数控机床控制技术应用实例	188
第一节 车床数控改造	188
第二节 加工中心换刀 PLC 控制流程	197
第三节 XH714 立式加工中心电气控制	202
第四节 基于定位模块的 PLC 位置控制	213

本章小结	217	附录 A ISO4336—1981 (E) 机床数字控制	
复习思考题	217	——数控装置和数控机床电气	
第十章 数控机床故障诊断	219	设备之间的接口规范	236
第一节 故障诊断的方法	219	附录 B 数控机床伺服系统常用	
第二节 故障诊断实例	226	调节控制	238
本章小结	233	附录 C FANUC PLC 功能指令简介	240
复习思考题	233	附录 D STEP7 PLC 基本指令	246
附录	236	参考文献	249

第一章 概 论

随着科学技术和社会生产的不断发展,机械制造技术有了深刻的变化。由于社会对产品多样化的需求更加强烈,多品种、中小批量的比重明显增加,采用传统的普通加工设备已难于适应高效率、高质量、多样化的加工要求。机床数控技术的应用,一方面促使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程连为一体;另一方面,促使机械加工的全过程与柔性自动化水平不断提高,即提高了制造系统适应各种生产条件变化的能力。数控技术同时又是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的技术基础之一,是机电一体化的重要组成部分。

第一节 数控机床控制系统的构成

一、数控机床的组成

数字控制(Numerical Control,简称NC)技术是用数字化信息进行控制的自动控制技术,采用数控技术控制的机床,或者说装备了数控系统的机床,称为数控机床。数控机床是机电一体化的典型产品,是集机床、计算机、电动机及拖动、电力电子技术、自动控制、PLC、检测等技术为一体的自动化设备。现代数控系统都为计算机数控系统(Computer Numerical Control,简称CNC)。

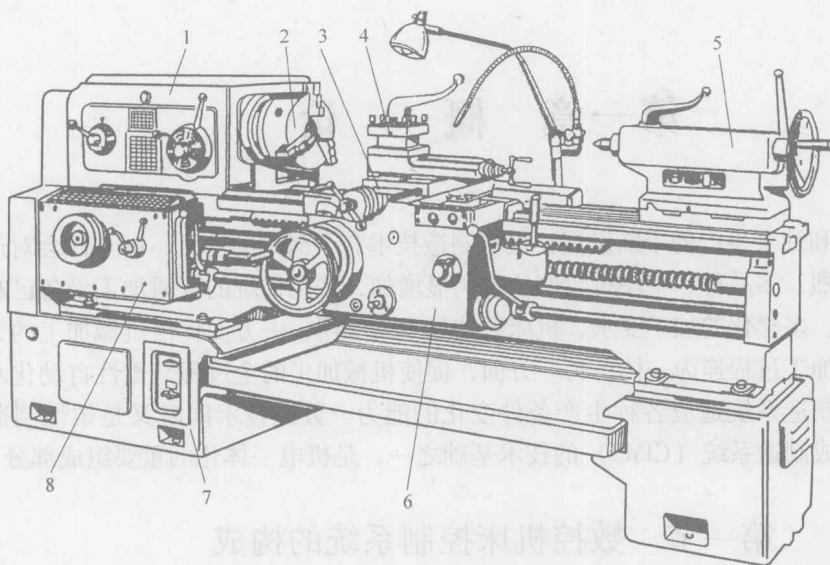
和普通机床相比,数控机床完全按照加工程序自动地加工工件。图1-1a为普通卧式车床外观,图1-1b为该某卧式车床传动链图;图1-2为数控车床外观。

在普通卧式车床中,主电动机通过带、齿轮、离合器等传动链将运动分解为主轴传动和进给传动。在主传动中,通过手柄调整主轴箱内的滑移齿轮,得到各组齿轮配合,从而获得各级主轴转速。通过转动手轮实现滑板 and 刀架的横向和纵向进给运动。尤其在车削螺纹时,根据所要加工螺纹的螺距,在主轴箱外挂装不同齿数比的齿轮,从而使主轴转速和进给速度相匹配。另外,尾座顶尖伸出、缩进,刀架的转位和固定,工件在卡盘上的夹紧和放松,切削液的开关等都要由操作者手动完成。

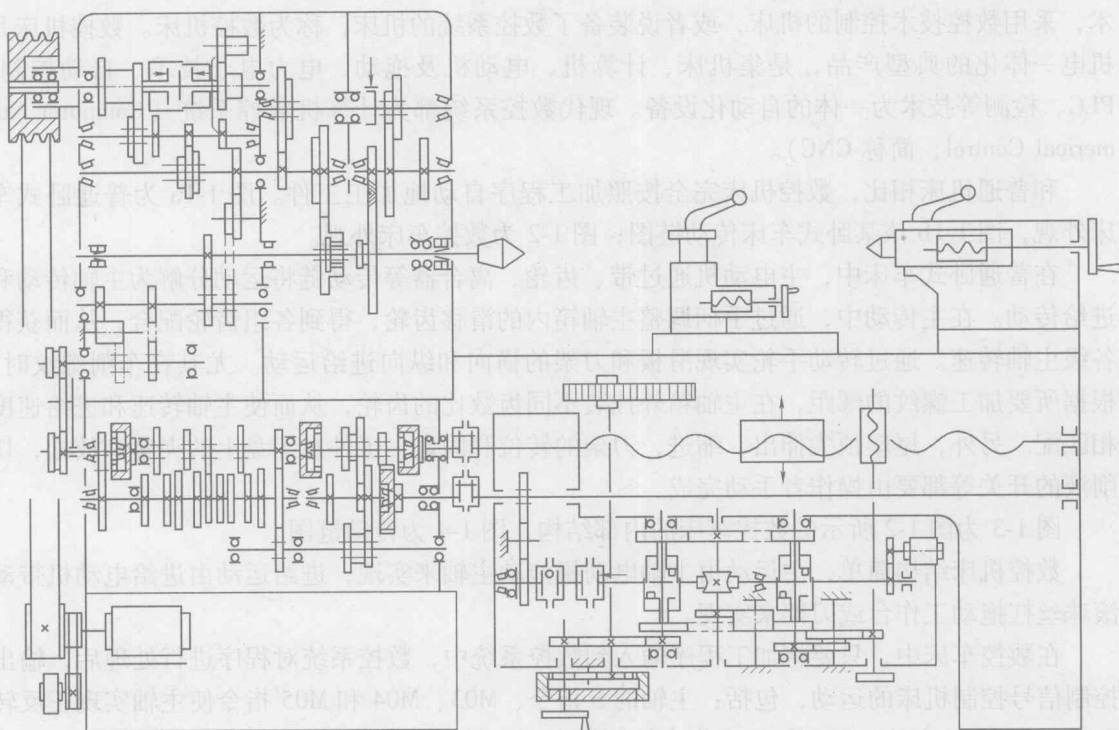
图1-3为图1-2所示的数控车床的内部结构,图1-4为传动链图。

数控机床结构简单,主运动由主轴电动机拖动主轴来实现;进给运动由进给电动机带动滚珠丝杠拖动工作台或刀架来实现。

在数控车床中,只要将加工程序输入到数控系统中,数控系统对程序进行处理后,输出控制信号控制机床的运动,包括:主轴的S指令、M03、M04和M05指令使主轴实现正反转和停止;G00、G01、G02和G03指令控制横向(Z轴)和纵向(X轴)完成规定的进给运动轨迹;T指令使回转刀架旋转进行选刀;其他M指令使尾座自动伸出、缩进,卡盘自动夹紧、放松,切削液自动开关等。操作者只要操作数控系统面板上的键盘和按钮,就可对机床进行控制。显示器显示出当前正在运行的程序及正在执行的程序段、坐标变化等。有些数控系统还能模拟出刀具的运动轨迹;当机床发生故障时,数控系统能对数控机床进行自诊断,并显示出故障产生的部位和故障类型等。



a)



b)

图 1-1 卧式车床

a) 外观 b) 传动链图

1—主轴箱 2—主轴卡盘 3—滑板 4—刀架 5—尾座 6—溜板箱 7—床身 8—进给箱

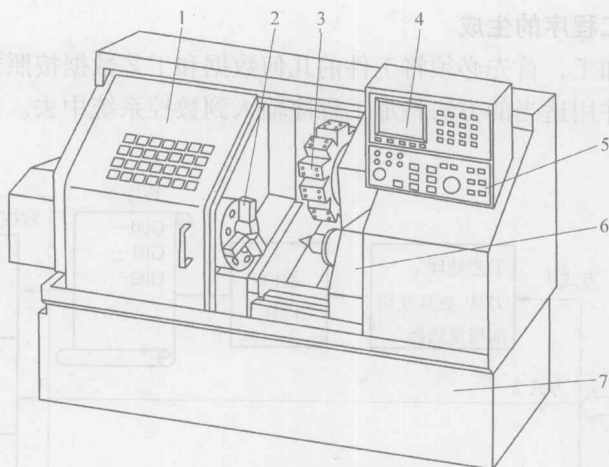


图 1-2 数控车床

- 1—移动式防护门 2—主轴卡盘 3—回转式刀架 4—数控系统显示器
5—机床操作面板 6—尾座 7—床身

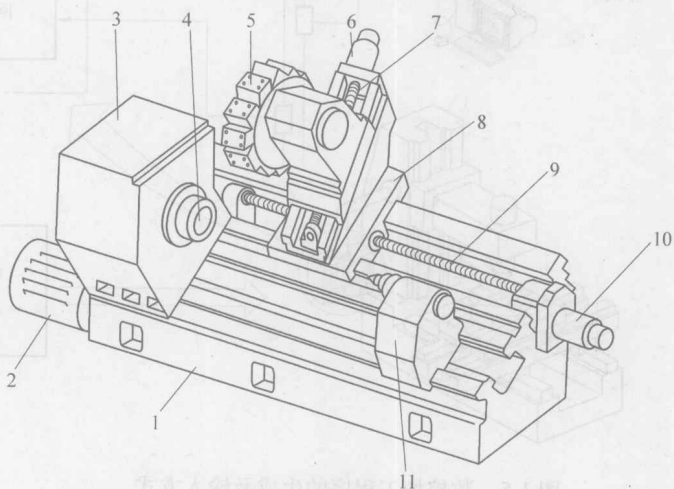


图 1-3 数控车床内部结构

- 1—床身 2—主轴电动机 3—主轴箱 4—主轴 5—回转刀架 6—X 轴进给电动机
7—X 轴滚珠丝杠 8—床鞍 9—Z 轴滚珠丝杠 10—Z 轴进给电动机 11—尾座

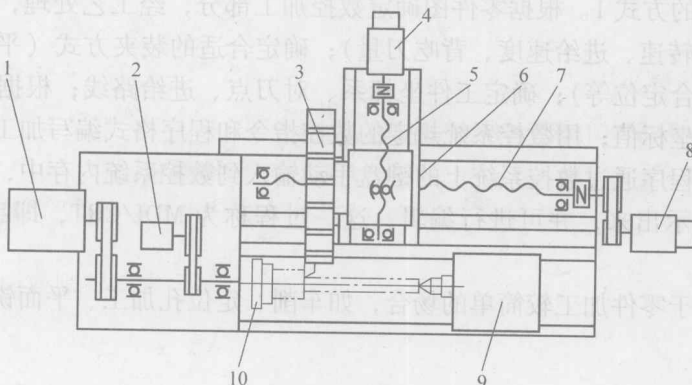


图 1-4 数控车床传动链图

- 1—主轴电动机 2—主轴编码器 3—回转刀架 4—X 轴进给电动机 5—X 轴滚珠丝杠
6—床鞍 7—Z 轴滚珠丝杠 8—Z 轴进给电动机 9—尾座 10—主轴卡盘

二、数控机床加工程序的生成

用数控机床进行加工，首先必须将工件的几何数据和工艺数据按照规定的代码和格式编制成数控加工程序，并用适当的方法将加工程序输入到数控系统中去。图 1-5 为数控加工程序生成示意图。

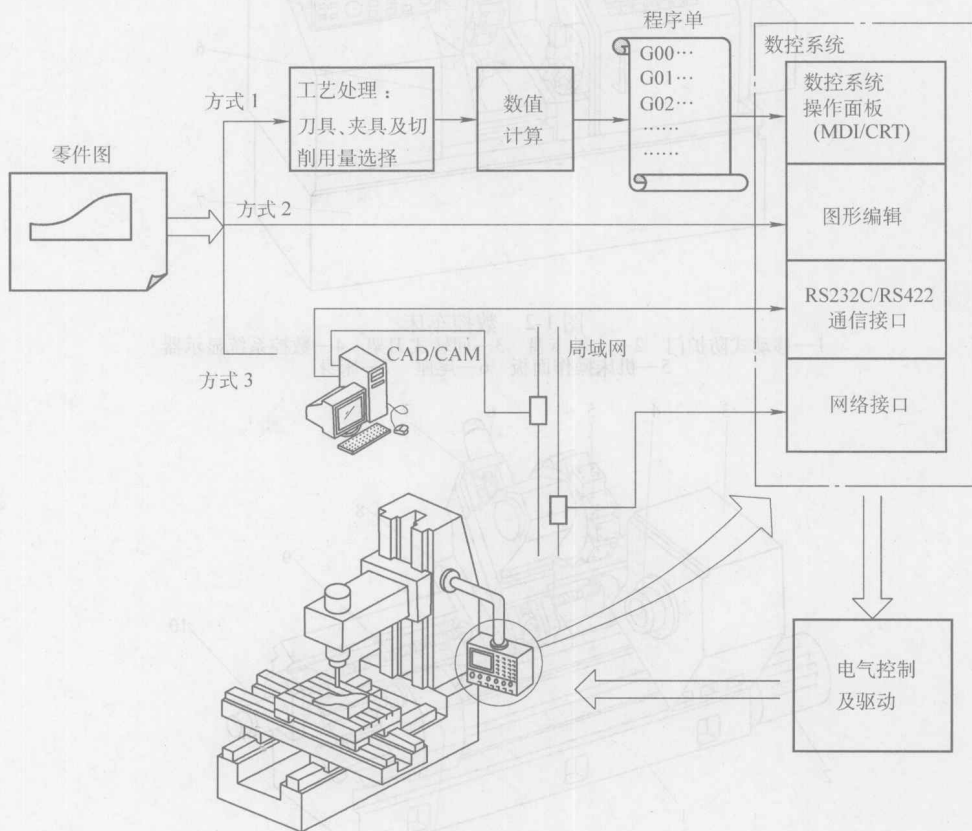


图 1-5 数控加工程序的生成及输入方式

1. 手工编程

其方式如图中的方式1。根据零件图确定数控加工部分，经工艺处理，选择合适的刀具及切削用量（主轴转速、进给速度、背吃刀量）；确定合适的装夹方式（平面定位、外圆定位、内孔定位及组合定位等）；确定工件坐标系、对刀点、进给路线；根据零件图上的尺寸计算出各坐标点的坐标值；用数控系统规定的数控指令和程序格式编写加工程序。

编写好的加工程序通过数控系统上的键盘手动输入到数控系统内存中，输入的程序段或程序在显示屏上显示出来，并可进行编辑，这一过程称为 MDI/CRT，即手动数据输入/显示。

手工编程适用于零件加工较简单的场合，如车削、定位孔加工、平面铣削或简单轮廓铣削等场合。

2. CAD/CAM

其方式如图中的方式3。该方式利用 CAD/CAM 软件，如 MasterCAM、Pro/E、UGS 等对零件进行数控加工建模造型，经后置处理后自动生成加工程序。生成后的程序经 RS232C/

RS422 通信接口传输到数控系统中；在有局域网的车间或工厂中，可通过网络使计算机与数控系统连接起来，进行包括加工程序在内的数据交换。

CAD/CAM 适用于复杂轮廓、空间曲线、复杂型腔、尤其是模具数控加工程序生成。CAD/CAM 是当前数控程序生成的重要手段。

3. 图形编辑人机对话

其方式如图中的方式 2。有些高档数控系统具有图形人机对话功能，数控系统具有强大的图形库，操作者只要调用所要加工的图形元素，键入相应的尺寸、加工余量等参数，数控系统即自动生成加工轨迹和加工程序。

图形编辑人机对话适用于数控车削、定位孔加工和型腔加工等场合。

早期数控系统的存储介质还有穿孔纸带，这是一种宽为 25.4mm (1in) 的黑色纸带，上面有一排排按规则排列的孔，每一行孔的排列组合或代表一个字母，或代表一个数字、字符，从而表示出数控指令、坐标值等信息，这些信息组成了完整的加工程序，程序的容量大小用穿孔带的长度来表示。穿孔纸带上的信息由光电阅读机这一专门的输入设备读取，并存储到数控系统的内存中。

三、数控机床控制对象

数控系统对输入的加工程序进行数据处理，输出各种信息和指令，控制机床各部分按规定有序地动作。这些信息和指令最基本的包括：各坐标轴的进给方向、进给位移量和进给速度、各状态控制的 I/O 信号等。从数控机床控制最终要完成的任务看，主要有以下三个方面内容：

1. 主轴运动

和普通机床一样，主运动主要完成切削任务，占据了机床大部分功率。其基本控制是主轴的正反转和停止，可无级调速或自动换档。加工中心和有些数控车床还必须具有主轴定向控制或 C 轴控制。由于主轴运动是通过主轴电动机来实现的，因此对主轴的控制很大程度上是对主轴电动机进行控制，如主轴电动机的调速、起停和正反转等。

2. 进给运动

这是数控机床区别于普通机床最根本的地方，即用电气驱动替代了机械驱动，具体表现为进给电动机带动滚珠丝杠使工作台、刀架等移动部件实现进给运动。进给运动控制是由进给伺服系统完成的。伺服系统包括伺服驱动装置、进给电动机、进给传动链、位置及速度检测装置等。图 1-6 为数控机床某轴进给伺服框图，从中可了解数控机床进给控制的基本原理。

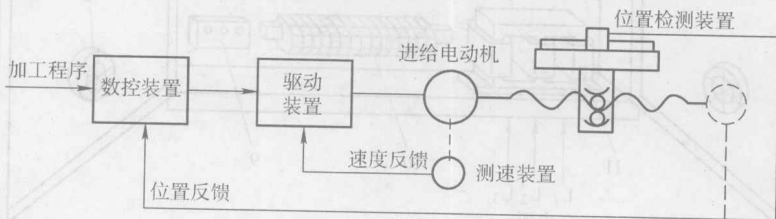


图 1-6 进给伺服框图

数控系统对输入的加工程序进行运算处理后，得到位置控制指令，经变换，生成控制信号到伺服驱动装置。驱动装置对控制信号进行调节和功率放大后，获得驱动电源输出到进给电动机，进给电动机通过滚珠丝杠拖动工作台运动。与此同时，位置检测装置不断地检测出

工作台移动的实际位移,并反馈到数控系统,和位置指令进行比较,当实际位置等于指令位置时,进给电动机停止转动,工作台就停止在程序规定的地方。

伺服控制的最终目的是对机床工作台或刀具的位置控制,伺服系统中所采取的一切措施,都是为了保证进给运动的位置精度。如对机械传动链进行预紧和反向间隙调整;采用高精度的位置检测装置;采用高性能的伺服驱动装置和伺服电动机;提高数控系统的运算速度等。

3. 输入/输出 (I/O)

数控系统对加工程序处理后输出的控制信号除了对进给运动轨迹进行连续控制外,还要对机床的各种状态进行控制。这些状态包括主轴齿轮换挡、变速控制,主轴的正、反转及停止,冷却和润滑装置的起动和停止,刀具自动交换,工件夹紧和放松及分度工作台转位等。例如,通过对机床程序中的 M 指令、机床操作面板上的控制开关及分布在机床各部位的行程开关、接近开关、压力开关等输入元件的检测,由数控系统内的可编程序控制器 (PLC) 进行逻辑运算,输出控制信号驱动中间继电器、接触器、电磁阀及电磁制动器等输出元件,对冷却泵、润滑泵、液压系统和气动系统进行控制。

因为数控机床的控制主要表现为电气控制,因此,数控机床电气控制柜中的内容也更为丰富,图 1-7 为数控机床电气控制柜组成示意图。数控装置与机床电气设备间的连接关系参见附录 A (ISO4336—1981 (E) 机床数字控制——数控装置和数控机床电气设备之间的接口规范)。

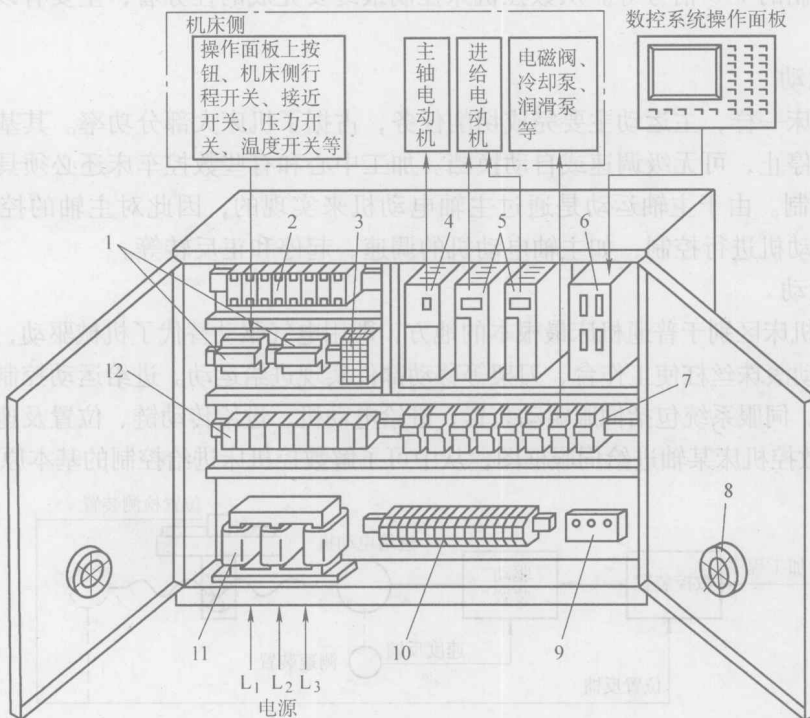


图 1-7 数控机床电气控制柜组成示意图

- 1—输入/输出信号线端子排 2—熔断器及断路器 3—开关电源 4—主轴驱动装置
5—进给驱动装置 6—数控装置 7—接触器 8—散热风扇
9—接地排 10—接线排 11—变压器 12—中间继电器

总之,数控机床的运行在数控系统的控制下,处于不断地计算、输出、反馈等控制过程中,从而保证刀具和工件之间相对位置的准确性。与其他加工方法相比,数控机床有以下优点:

- 1) 数控系统取代了普通机床的手工操纵,具有充分的柔性,只要能编制成零件程序就能加工出零件。
- 2) 零件加工精度一致性好,避免了普通机床加工时人为因素的影响。
- 3) 生产周期较短,特别适合小批量、单件的加工。
- 4) 可加工复杂形状的零件,如二维或三维轮廓加工。
- 5) 易于调整机床,与其他制造方法(如自动机床、自动生产线)相比,所需调整时间较少。

第二节 数控机床的分类

一、按用途分类

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控铰铣床等。

加工中心 MC (Machine Center) 是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起,工件在一次装夹后,对其进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工,主要用来加工箱体类零件。近年来又出现了许多车削加工中心,几乎可以完成回转体零件的所有加工工序,车削加工中心除了基本的 X 、 Z 轴外,还有回转轴 C 轴(参见图 2-9)。加工中心实现了一次装夹,一机多工序的加工方式,有效地避免了零件多次装夹造成的定位误差,大大提高了加工精度、生产效率和自动化程度,是柔性制造系统(FMS)的必要装备之一。

2. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床有数控折弯机、数控弯管机和数控冲床等。

3. 数控特种加工机床

数控特种加工机床有数控线切割机、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等。

二、按运动方式分类

1. 点位控制

点位控制的特点是,刀具或工作台只能实现从一个位置到另一个位置的精确移动,在移动和定位过程中不进行任何加工,数控系统只需控制行程终点的坐标值。为了尽可能地减少移动部件的运动和定位时间,一般先快速移动到终点坐标附近,然后再减速到定位点,以保证良好的定位精度。具有点位控制功能的数控机床主要有数控镗床、数控钻床、数控冲床及数控弯管机等。图 1-8a 所示为数控钻床点位控制加工示意图。

2. 点位直线控制

点位直线控制的特点是,刀具或工作台不但能实现从一个位置到另一个位置的精确移动,而且能实现平行于坐标轴的直线加工运动或沿与坐标轴成 45° 斜线进行直线切削加工,但不能沿任意斜率的直线进行加工。具有点位直线控制功能的数控机床有数控车床、数控镗铣床和加工中心等。图 1-8b 为点位直线控制示意图。

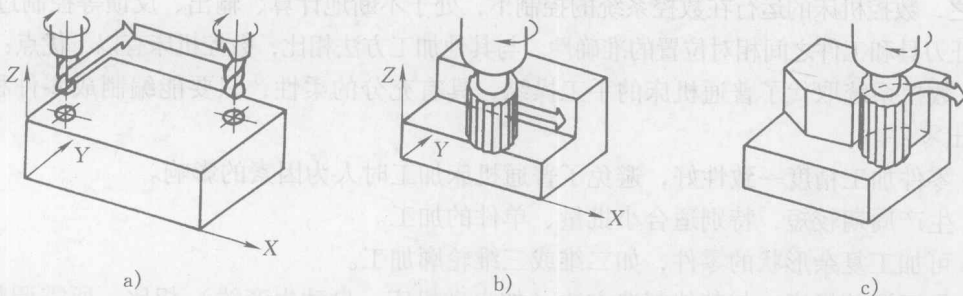


图 1-8 数控机床的运动方式

a) 点位控制 b) 点位直线控制 c) 轮廓控制

3. 轮廓控制

轮廓控制也称连续控制，其特点是数控系统能对两个或两个以上的坐标轴同时进行连续控制，在加工中，需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度和位移控制，将工件加工成一定的轮廓形状。具有轮廓控制功能的数控机床有功能完善的数控车床、数控铣床、数控磨床、数控火焰切割机及数控线切割机等。图 1-8c 为数控铣床轮廓加工示意图，轮廓控制系统兼容点位直线控制系统和点位控制系统。

三、按控制方式分类

1. 闭环控制系统

闭环控制系统是在机床移动部件（如工作台）上直接安装有直线位置检测装置，将检测到的实际位置反馈到数控系统中，与位置指令进行比较，用比较后的差值控制移动部件移动，直到差值消除时才停止移动。图 1-6 中用实线表示的位置反馈即组成闭环控制系统。位置检测装置有光栅、感应同步器和磁栅等。

由于闭环系统的位置检测包含了进给传动链的全部误差，如滚珠丝杠螺母副、导轨副的间隙等，因而可以达到很高的控制精度，定位精度可在 $\pm 0.001\text{mm}$ 以内；另外，由于位置检测反馈过程中包含的各种不稳定因素较多，因此调试工作较困难，若各种参数匹配不当，会引起系统振荡，造成机床工作不稳定。

2. 半闭环控制系统

半闭环控制系统可参见图 1-6 中用虚线表示的位置反馈。半闭环控制系统是在伺服电动机上同轴安装，或在滚珠丝杠轴端安装有角位移检测装置，通过测量角位移间接地测量出移动部件的直线位移，然后反馈至数控系统中，控制方式同闭环控制系统。能实现角位移检测的装置有光电编码器、旋转变压器等。

由于半闭环控制系统中，进给传动链的滚珠丝杠螺母副、导轨副的误差不全部包括在位置反馈内，所以传动机构的误差仍然会影响到移动部件的位置精度，但因为反馈过程中不稳定因素的减少，因此调试较方便，稳定性好，目前应用比较广泛。至于传动链误差，如反向间隙、丝杠螺距累积误差可通过数控系统的参数设置来进行补偿，以提高机床的定位精度。

3. 开环控制系统

开环控制系统是指不带位置反馈的控制系统。这种系统通常使用步进电动机作为执行元件。由于没有位置反馈，进给传动链的误差不能进行校正补偿，所以控制精度较低，位置精