



21世纪高职高专规划教材

(机械类)

数控机床 及其使用维修

第2版

卢斌 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高职高专规划教材（机械类）

数控机床及其使用维修

第 2 版

主 编	武汉船舶职业技术学院	卢 斌
副主编	武汉船舶职业技术学院	陈少艾
	武汉铁路职业技术学院	邱文萍
参 编	武汉船舶职业技术学院	姚 新
	河北工业大学	曲云霞
	重庆电子工程职业学院	岳秋琴
主 审	武汉船舶职业技术学院	周 兰



机 械 工 业 出 版 社

本书根据高等职业技术教学要求编写的。全书共 10 章,以使用较为广泛的数控车床、数控铣床、加工中心为主线,介绍数控机床工作原理、传动机构及调整使用、数控装置硬件及软件结构、数控机床可编程序控制器、伺服驱动装置与接口技术、数控机床典型机构,以及数控机床的选用、维修、安装、调试与验收。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学、业余大学、函授大学、电视大学和成人教育学院等机械制造专业、数控机床加工专业、机电一体化专业、数控技术应用专业的教材,也可作为从事数控机床使用与维修等工作的技术人员、高级技师的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床及其使用维修/卢斌主编. —2 版. —北京:
机械工业出版社, 2010. 2

21 世纪高职高专规划教材. 机械类
ISBN 978 - 7 - 111 - 29731 - 4

I. ①数… II. ①卢… III. ①数控机床 - 使用②数控机床 - 维修 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 022929 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: 余茂祚 责任编辑: 余茂祚 版式设计: 霍永明
责任校对: 程俊巧 责任印制: 乔 宇
北京京丰印刷厂印刷
2010 年 4 月第 2 版·第 1 次印刷
184mm × 260mm · 12.5 印张 · 304 千字
0 001—4 000 册
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 29731 - 4
定价: 22.00 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

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭
刘义	刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东
李兴旺	李居参	李麟书	杨国祥	余党军
张建华	茆有柏	秦建华	唐汝元	谈向群
符宁平	蒋国良	薛世山	储克森	

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明	田建敏	成运花	曲昭仲	朱强
刘莹	刘学应	许展	严安云	李连邨
李学锋	李选芒	李超群	杨飒	杨群祥
杨翠明	吴锐	何志祥	何宝文	余元冠
沈国良	张波	张锋	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	俞庆生	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	徐铮颖	韩学军	崔平
崔景茂	焦斌			

总策划 余茂祚

第2版前言

本书从高等职业教育实际需要出发,根据高等职业技术教学要求,确定编写指导思想和教材特色,以工程实践需要为目的,加强了针对性和实用性,重视教学内容的应用性。本书以广泛使用的数控车床、数控铣床、加工中心为主线,介绍数控机床工作原理,传动机构及调整使用,数控系统硬件及软件结构,数控机床可编程控制器,伺服驱动装置与接口技术、数控机床典型机构、数控机床的选用与维修及安装、调试与验收。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、职工大学、业余大学、函授大学、电视大学和成人教育学院等机械制造专业、数控机床加工专业、机电一体化专业、数控技术应用专业的教材,也可作为从事数控机床使用与维修等工作的技术人员、高级技师的参考书。

全书共10章,总课时为40~60学时,各院校可根据实际情况决定内容的取舍。

本书在2001年5月第1版基础上,结合数控机床应用发展和教学实际需要,对第2、3、4、6、8章进行了全面修订,对第5、7章进行了重新改写。由卢斌任主编,陈少艾、邱文萍任副主编,周兰任主审。第1、2章由姚新编写,第3、4、9章由卢斌编写,第5章由岳秋琴编写,第6章由曲云霞编写,第7、8章由陈少艾编写,第10章由邱文萍编写。全书由陈少艾负责组稿,由卢斌负责统稿和定稿。

本书编写时参阅了有关院校的教材,以及科研单位、企业公司的资料和文献,得到了许多同行专家的支持和帮助,在此谨致谢意。

限于编者的水平和经验,书中难免有不少缺点或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

本书是从高职教育的实际出发,根据高等职业技术教学要求,确定了编写的指导思想和教材特色,以工程应用为目的,加强了针对性和实用性,强化了实践教学。本书以企业中使用较广泛、具有先进性的数控机床为主线,介绍数控机床工作原理,传动结构及调整,数控机床的操作,计算机数控装置的硬件及软件,伺服驱动与检测,数控机床典型结构及常见故障分析排除、数控设备安装、调试。

本书可作为高等职业技术学院,高等学校专科、职工大学、业余大学、夜大学、函授大学、成人教育学院等数控技术应用专业、数控机床加工专业、机械制造专业、机电一体化专业的教材,也可作为从事数控机床使用、维修等工作的技术人员的参考书。

全书共10章,总课时为60~80学时,各院校可根据实际情况决定内容的取舍。

本书由卢斌任主编,李世杰、陈少艾任副主编,胡黄卿任主审。第1、2、4章由姚新编写,第3、7章由曲云霞编写,第5章由余华编写,第6章由李世杰编写,第8章由岳秋琴编写,第9章由卢斌编写,第10章由陈少艾编写。全书由卢斌提出总体构思及编写思想,由陈少艾负责统稿和定稿。

本书编写时参阅了有关院校、工厂、科研单位的教材、资料和文献,并得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此谨致谢意。

限于编者的水平和经验,书中难免有不少缺点或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的分类	1
1.2 数控机床工作原理及组成	5
1.3 数控机床主要性能指标与功能	8
复习思考题	10
第2章 数控车床	11
2.1 概述	11
2.2 MJ—50 型数控车床及典型机构	13
2.3 数控车削中心简介	22
复习思考题	26
第3章 数控铣床	27
3.1 概述	27
3.2 数控铣床组成与布置	29
3.3 XKA5750 型数控铣床	33
复习思考题	40
第4章 加工中心	41
4.1 概述	41
4.2 自动换刀装置	44
4.3 JCS—018A 型立式加工中心	50
复习思考题	62
第5章 机床数控系统	63
5.1 数控系统的构成与功能	63
5.2 数控系统的硬件结构	64
5.3 数控系统的软件结构	67
5.4 FANUC 机床数控系统	70
5.5 SIEMENS 机床数控系统	77
复习思考题	89
第6章 数控机床与可编程序 控制器	91
6.1 可编程序控制器的基本概念与 分类	91

6.2 可编程序控制器的基本结构及编程 方法	93
6.3 数控机床用可编程序控制器	98
6.4 典型 PLC 的指令和程序编制	101
6.5 可编程序控制器的发展方向	109
复习思考题	110
第7章 数控机床伺服装置与接口	112
7.1 步进电动机驱动装置	112
7.2 直流伺服驱动装置	121
7.3 交流伺服驱动装置	127
7.4 典型驱动装置及接口技术	131
复习思考题	150
第8章 数控机床的典型机构	151
8.1 数控机床的主传动系统	151
8.2 数控机床的进给传动系统	153
8.3 数控机床导轨	159
8.4 回转工作台	162
复习思考题	165
第9章 数控机床的选用与维修	166
9.1 数控机床的选择	166
9.2 数控机床的常规保养	169
9.3 数控装置故障维修	171
9.4 进给伺服系统故障维修	174
9.5 主轴伺服系统故障维修	177
9.6 数控机床故障分析及维修实例	179
复习思考题	183
第10章 数控机床的安装、调试与 验收	184
10.1 数控机床的安装	184
10.2 数控机床的检查与调试	185
10.3 数控机床的验收	187
复习思考题	189
参考文献	190

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控机床的分类

1.1.1 数控机床的产生

采用数字控制 (NC, Numerical Control) 技术进行机械加工的构思, 最早是于 20 世纪 40 年代初提出来的。

1952 年, 美国麻省理工学院成功地研制出一台数控铣床, 这是公认的世界上第一台数控机床, 当时使用的是电子管元器件。

1958 年, 开始采用晶体管元件和印刷线路板。美国出现带自动换刀装置的数控机床, 称为加工中心 (MC, Machining Center)。从 1960 年开始, 其它一些工业国家, 如日本、原联邦德国也陆续开发生产出了数控机床。

1965 年, 数字控制开始采用小规模集成电路, 使机床数控装置体积减小, 功耗降低及可靠性提高。在这个阶段采用的是硬件逻辑数控系统。

1967 年, 英国莫林斯公司首次联接六台模块化结构的多工序数控机床, 这就是最初的柔性制造系统 (FMS, Flexible Manufacturing System)。

1970 年, 美国芝加哥国际机床展览会首次展出用小型计算机控制的数控机床, 这是世界上第一台计算机数字控制 (CNC, Computer Numerical Control) 的数控机床。

1971 年, 美国英特尔公司推出世界上第一款微处理器 (Microprocessor), 伴随着微处理器广泛运用于数控装置进程, 促进了数控技术快速发展及数控机床的普及应用。

1976 年, 日本法拉科公司展出由加工中心和工业机器人组成的柔性制造单元 (FMC, Flexible Manufacturing Cell), 能够在数控机床上自动检测和装卸工件。

通常柔性制造系统 FMS 由柔性制造单元 FMC 组成, FMS 及 FMC 是组成计算机集成制造系统 (CIMS, Computer Integrated Manufacturing System) 的基础。

1.1.2 数控机床的特点

1. 数控机床与普通机床的区别

(1) 加工操作: 数控机床具有手动加工、机动加工、自动加工功能, 加工过程不需要人工操作。而普通机床只具有手动加工、机动加工功能, 加工过程由人工进行操作。

(2) 显示功能: 数控机床具有显示器 (CRT 或 LCD) 功能, 可以显示加工程序、工艺参数、加工时间、刀具运动轨迹及工件图形等。数控机床还具有自动报警功能, 根据报警信号或报警提示, 可以迅速查找到机床故障。而普通机床则不具备上述功能。

(3) 传动系统: 数控机床的主传动和进给传动, 采用直流或交流无级变速伺服电动机, 不需要主轴变速箱和进给变速箱, 因此传动链短。而普通机床主传动和进给传动, 一般采用三相交流异步电动机, 由变速箱实现多级变速以满足加工要求, 机床传动链长。

(4) 测量方式: 数控机床具有位移测量显示系统, 能在加工过程中对工件尺寸进行自动测量。而普通机床在加工过程中, 必须由人工对工件尺寸进行测量。

数控机床与普通机床比较的显著特点，就是在加工对象（工件）发生改变时，数控机床通常只需要更改加工程序（软件），即能够满足不同零件的加工要求。

2. 数控机床的加工特点及适用范围

（1）能加工复杂型面：由于数控机床能够实现多轴联动，可加工出普通机床无法完成的空间曲线和曲面。因此在航空、航天领域和对复杂型面的模具加工中得到广泛应用。

（2）具有较高的柔性：所谓柔性即灵活与可变性，是相对于不可变的刚性而言。采用组合机床或专用机床，大批量加工单品种零件，可以提高生产率，保证加工质量，降低生产成本，但这类刚性设备无法适应多品种和小批量生产。仿形机床能够加工较复杂零件，但更换产品必须重新设计和制造靠模，生产准备周期长。而数控机床只需要更改加工程序和重新调整刀具，就能够满足多品种、中小批量、复杂型面零件的加工要求，生产准备周期短。

（3）加工精度高、质量稳定：数控机床的运动分辨率远高于普通机床，前者多数具有位置检测功能，可以将机床移动部件位移量，丝杠或伺服电动机转角，通过数控系统进行反馈补偿，获得比机床本身精度还要高的加工精度。数控机床的加工质量完全由机床保证，不存在人工操作误差，相同零件尺寸的一致性好，加工精度高、质量稳定。

（4）生产效率高：数控机床的功率大、刚性好，主轴转速高及进给速度范围大，而且是无级变速，能够选择较大且合理的切削用量，以减少加工的切削时间。数控机床的空行程速度远高于普通机床，能够节省大量的辅助时间。此外，数控机床加工可免去划线工序，省去了加工过程中的检验环节。

（5）数字化管理：数控机床能准确计算并自动记录加工过程，对生产过程中的半成品、成品进行资料统计分析，可以实现计算机集成化控制与数字化管理。

数控机床的综合性能远远高于普通机床（见表 1-1）。

表 1-1 数控机床与普通机床性能比较

序 号	主 要 性 能	数 控 机 床	普 通 机 床
1	加工复杂零件和型面的能力	高	低
2	加工对象发生改变时的柔性程度	高	低
3	零件的加工质量和加工精度	高	低
4	加工效率	高	低
5	设备的利用率	高	低
6	进行产品优化和实现 CAD 的功能	高	低
7	设备的初期投入	高	低
8	对操作人员的技术要求	高	低
9	对生产计划和准备的要求	高	低
10	设备的使用费用(人力、原材料等)	低	高
11	维护和维修费用	高	低
12	对不合格产品进行再加工的费用	低	高

并不是所有的加工零件都适用于数控机床，图 1-1 列举了各类机床的使用范围。数控机床、专用机床和普通机床各自的使用范围是不相同的，而且各种机床的加工批量与成本的关系也不一样（见图 1-2）。

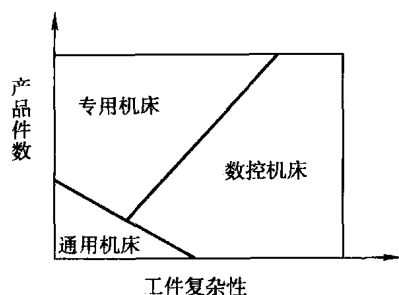


图 1-1 机床使用范围

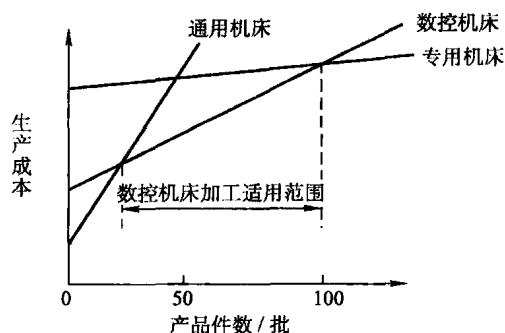


图 1-2 机床加工批量与成本关系

从图 1-2 可以看出，数控机床适用于加工比较复杂而且生产批量不大的零件。当零件复杂程度相当，生产批量很大时应采用专用机床。

适用于数控机床加工的零件包括：

- 1) 形状复杂且加工精度高，普通机床无法加工或很难保证质量的零件。
- 2) 有复杂曲线或曲面轮廓的零件。
- 3) 批量小而又多次重复生产的零件。
- 4) 难以测量和难以控制尺寸，内腔不开敞的壳体或盒型零件。
- 5) 要在一次性装夹中完成铣、镗、铰或攻螺纹等多工序零件。
- 6) 尺寸位置精度高及用料贵重的零件。
- 7) 需要多次更改设计后才能定型的零件。
- 8) 通用机床加工的生产率低或体力劳动强度大的零件。

对于生产批量大的简单零件，或加工余量不稳定、装夹困难的零件等，一般都不太适合于用数控机床进行加工。

1.1.3 数控机床的分类

1. 按加工方式和工艺用途分类 这种分类方法与普通机床的分类方法相似，按切削方式不同，可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。

有些数控机床具有两种以上切削功能，例如以车削为主兼顾铣、钻削的车削中心；具有铣、镗、钻削功能，带刀库和自动换刀装置的镗铣加工中心（简称加工中心）。

另外，还有数控线切割、数控电火花、数控激光加工、等离子弧切割、火焰切割、数控板材成形、数控冲压、数控剪切、数控液压等各种功能和不同种类的数控加工机床。

本书着重介绍数控车床、数控铣床和加工中心等各种类型的数控机床。

2. 按加工路线分类 数控机床按其刀具与工件相对运动的方式，可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制，如图 1-3 所示。

(1) 点位控制（见图 1-3a）：点位控制方式就是刀具与工件相对运动时，只控制从一点运动到另一点的准确性，而

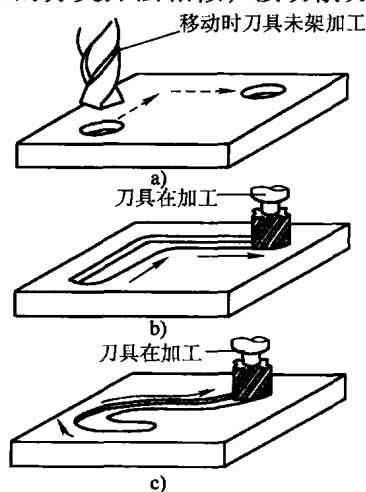


图 1-3 数控机床分类

- a) 点位控制 b) 直线控制
c) 轮廓控制

不考虑两点之间的运动路径和方向，且刀具移动时不进行加工。这种控制方式多应用于数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控点焊机等。

(2) 直线控制（见图 1-3b）：直线控制方式就是刀具与工件相对运动时，除控制从起点到终点的准确定位外，还要保证平行坐标轴的直线切削运动。由于只作平行坐标轴的直线进给运动，因此不能加工复杂的工件轮廓。这种控制方式用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

(3) 轮廓控制（见图 1-3c）：轮廓控制就是刀具与工件相对运动时，能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制。因此可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓。采用这类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

3. 按可控制联动的坐标轴分类 所谓数控机床可控制联动的坐标轴，是指数控装置控制几个伺服电动机，同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

(1) 两坐标联动：数控机床能同时控制两个坐标轴联动（见图 1-4），即数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动，可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。或机床本身有 X 、 Y 、 Z 三个方向的运动，数控装置只能同时控制两个坐标（见图 1-5），实现两个坐标轴联动，但在加工中才能实现坐标平面的变换，用于加工沟槽零件（见图 1-6a）。

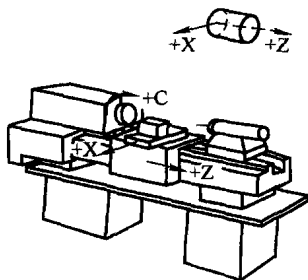


图 1-4 卧式车床

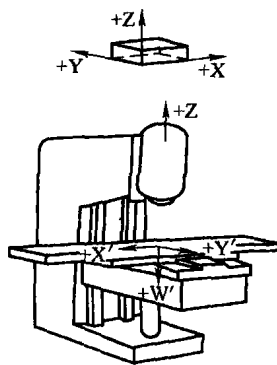


图 1-5 立式升降台铣床

(2) 三坐标联动：数控机床能同时控制三个坐标轴联动（见图 1-5）。三坐标数控铣床可用于加工曲面零件（见图 1-6b）。

(3) 两轴半坐标联动：数控机床本身有三个坐标能作三个方向的运动，但数控装置只能同时控制两个坐标，而第三个坐标只能作等距周期移动，可加工空间曲面零件（见图 1-6c）。数控装置在 ZX 坐标平面内控制 X 、 Z 两坐标联动，加工垂直面内的轮廓表面，控制 Y 坐标作定期等距移动，即可加工出零件的空间曲面。

(4) 多坐标联动：数控机床能同时控制四个以上坐标轴联动。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂，主要应用于加工形状复杂的零件。五轴联动铣床加工曲面形状零件（见图 1-6d），六轴加工中心运动坐标系示意图如图 1-7 所示。

4. 按数控装置的类型分类

(1) 硬件数控：早期的数控装置属于硬件数控（NC，Numerical Control）类型，主要由固化的数字逻辑电路处理数字信息，于 20 世纪 60 年代投入使用。由于其功能少、线路复杂和可靠性低的缺点已经淘汰，因而这种分类没有实际意义。

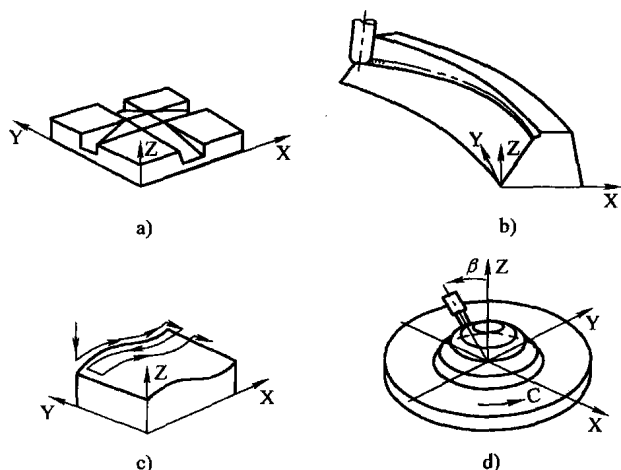


图 1-6 空间平面和曲面的数控加工

a) 零件沟槽加工 b) 三坐标联动曲面加工 c) 两坐标
联动加工曲面 d) 五轴联动铣床加工曲面

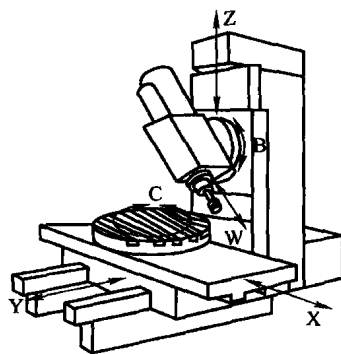


图 1-7 六轴加工中心坐标系

(2) 计算机数控: 计算机数控 (CNC, Computer Numerical Control) 系统, 于 20 世纪 70 年代初期投入使用。随着微电子技术发展, 微处理器性能提高, 以及价格越来越低, 微机数控 (MNC, Microcomputer Numerical Control) 成为主流系统。可以根据数控系统微处理器 (CPU) 数量, 分为单微处理器数控系统和多微处理器数控系统。

5. 按伺服系统有无检测装置分类 按伺服系统有无检测装置可分为开环控制和闭环控制数控机床。在闭环控制系统中, 根据检测装置的位置不同又可分为闭环控制和半闭环控制两种。

6. 按数控系统的功能水平分类 数控系统一般分为高级型、普及型和经济型三个不同档次。数控系统没有十分确切的档次界限, 其参考评价指标包括: CPU 性能、分辨率、进给速度、联动轴数、伺服水平、通信功能和人机对话界面等。

(1) 高级型数控系统: 中央处理单元 (CPU Central Process Unit) 32 位或更高性能, 联动 5 轴以上, 分辨率小于 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度不低于 $24\text{m}/\text{min}$ (分辨率为 $1\mu\text{m}$ 时) 或不低于 $10\text{m}/\text{min}$ (分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 时), 采用数字交流伺服驱动, 具有制造自动化协议 (MAP, Manufacturing Automation Protocol) 的高性能通信接口, 具备联网功能, 有三维动态图形显示。

(2) 普及型数控系统: 该档次的数控系统采用 16 位或更高性能的 CPU, 联动轴数在 5 轴以下, 分辨率在 $1\mu\text{m}$ 以内, 进给速度不高于 $24\text{m}/\text{min}$, 可采用交、直流伺服驱动, 具有直接数字控制或分布数字控制 (DNC, Direct Numerical Control 或 Distributed Numerical Control) 通信接口, 有 CRT 字符显示和平面线性图形显示。

(3) 经济型数控系统: 该档次的数控系统采用 8 位 CPU 或单片机控制, 联动轴数在 3 轴以下, 分辨率为 0.01mm , 进给速度在 $6\sim 8\text{m}/\text{min}$, 采用步进电动机驱动, 具有串行通讯标准的 RS232 通信接口, 用数码管或简单的 CRT 字符显示。

1.2 数控机床工作原理及组成

1.2.1 数控机床工作原理

数控机床是用数字信息控制的机床, 即通过代码化的数字信息, 将刀具移动轨迹记录在

程序介质上,经过数字译码运算转换成控制信号,控制机床刀具与工件的相对运动,加工出符合零件图样要求的零件。数控机床加工过程如图 1-8 所示。

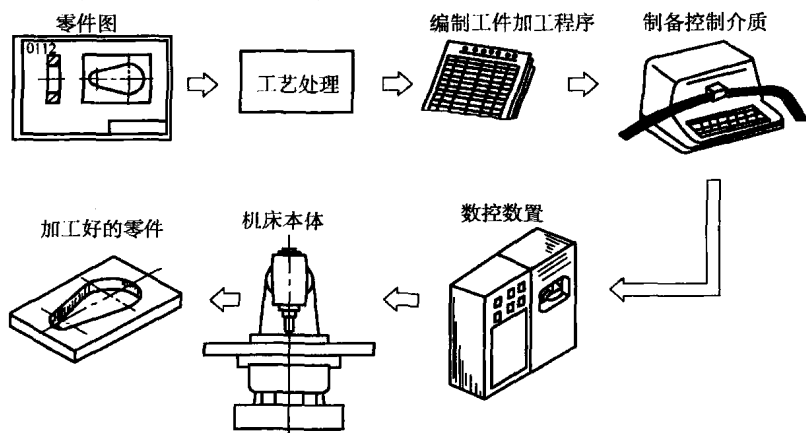


图 1-8 数控机床加工过程

由图 1-8 可知,数控机床加工要根据图样,拟定零件加工工艺方案,确定加工工艺的各项参数,根据零件几何形状和尺寸要求,按照编程规则编制数控加工程序,将加工程序输入机床数控装置,先用空走刀运行数控加工程序,经检查无误后再进行零件加工,两坐标联动的数控加工过程与计算机绘图过程及为相似。

计算机数字控制 (CNC) 系统,通过改变软件(而非电路或机械机构)实现控制信息和控制过程的转换,具有良好的柔性功能。因此,使用方便、可靠性和精度高,广泛应用于机械的运动轨迹、位移检测、辅助运动控制等方面。运动轨迹的精确度及可靠性,是数控机床和工业机器人的主要技术性能要求。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床主要由机床本体和计算机数控系统两大部分组成(见图 1-9)。

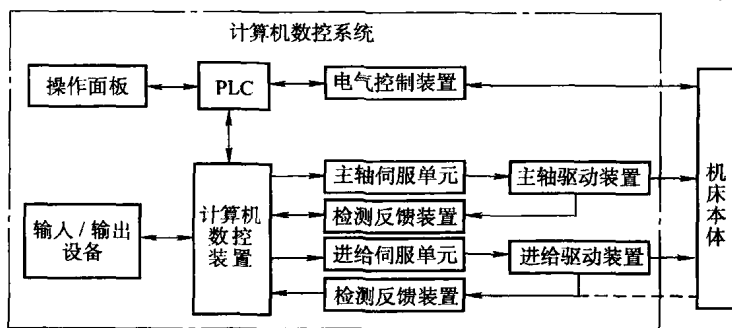


图 1-9 CNC 系统组成

1. 机床本体 数控机床本体由基础件(床身、底座)和运动件(工作台、床鞍、主轴箱等)组成,用于实现由数控装置控制的各种运动,并承载包括切削力在内的各种机械力。数控机床本体强度高、刚性好、热变形及摩擦阻力小,能够保证加工精度要求。

数控机床与普通机床的本体相比,具有以下特点:

- 1) 主轴部件及传动系统结构简单,变速运动传动链比较短。
- 2) 机床运动部件具有较高刚度、热变形小、耐磨性好。

3) 采用了滚珠丝杠、静压导轨、滚动导轨等高效率传动部件。

2. 数控系统 数控系统是数控机床的核心技术，包括硬件装置和数控软件两大部分。硬件由输入/输出设备、数控装置、伺服单元、驱动装置（或执行机构）、可编程序控制器（PLC）及电气控制装置和检测反馈装置等组成。

（1）输入/输出设备：数控机床要对加工程序进行输入、编辑、修改和调试操作，要在执行程序指令过程中不断地显示切削方向、坐标值、提示、报警等各种信息，这些信息的交换均由输入/输出设备（交互设备）完成。人机交互通常是由键盘和显示器实现，键盘是手动数据输入最为常用的工具，较简单的显示器由若干个数码管组成，较高级的显示器能显示字符、加工轨迹和图形等各类不同信息。

（2）数控装置：数控装置主要包括微处理器、存储器、局部总线、外围逻辑电路和与其它部分联系的接口等。其作用是根据输入的数据段，插补运算出理想的运动轨迹，输出到执行部件（伺服单元、驱动装置等），加工出所需要的零件。输入、轨迹插补、位置控制是数控装置的三项基本任务，由 CNC 的系统程序（也称控制程序）组织完成，以保证整个数控系统有条不紊地进行工作。

（3）伺服单元：伺服单元接收来自数控装置的进给指令，经变换和放大通过驱动装置转换成为机床工作台的位移运动；伺服单元是数控装置与机床本体的联系环节，它能将来自数控装置的微弱指令信号，放大为控制驱动装置的大功率信号。按不同接收指令形式伺服单元分脉冲式和模拟式，而按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

（4）驱动装置：驱动装置的作用是将放大后的指令信号转换成机械运动，通过机械传动装置驱动工作台进行移动，使工作台实现严格的相对运动或精确定位，以保证所需要的刀具轨迹路径或相对位置，保证加工的零件符合图样技术要求。对应于伺服单元的驱动装置，有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等不同类型。

伺服单元和驱动装置合称为伺服驱动系统，数控装置的指令信号主要靠伺服驱动系统付诸实施。因此，从某种意义上讲，数控机床功能的强弱主要取决于数控装置，而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

（5）可编程序控制器（PLC，Programmable Logic Controller）：以微处理器为基础的通用型自动控制装置，专门用于解决工业设备逻辑关系与开关量控制。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，称为可编程机床控制器（PMC，Programmable Machine Controller）。

数控机床的自动控制由 CNC 和 PLC 共同完成。CNC 负责数字运算及管理功能，如编辑加工程序、插补运算、译码、位置伺服控制等。PLC 负责与逻辑运算有关的各种动作，接受 CNC 控制代码 S（主轴转速）、M（辅助功能）、T（选刀、换刀）等顺序信息，译码后形成相应的动作控制信号，驱动辅助装置完成一系列开关操作，如变换转速、装夹工件、更换刀具和开关切削液等。PLC 还接受来自操作面板的指令，直接控制机床完成相应动作，并能将部分指令送往 CNC 用于加工过程控制。

应用于数控机床的 PLC 有两类，一类是 CNC 生产厂家为实现数控机床顺序控制，而将 CNC 和 PLC 综合设计的内装型（或集成型），这种 PLC 是 CNC 装置的一部分；另一类是专门生产厂家开发的 PLC 系列产品，即独立型（或外装型）的 PLC。

（6）检测反馈装置：该装置也称为反馈元件，安装在数控机床工作台或丝杠上，相当于普通机床的刻度盘。检测反馈装置将工作台位移量转换成电信号，并且反馈给数控装置进

行比对, 如果与指令值相比较有误差, 则控制工作台向消除误差的方向移动。数控系统按有无检测装置可分为闭环、半闭环和开环系统。闭环系统精度取决于检测装置精度, 开环系统精度取决于步进电动机和丝杠精度。检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。

1.3 数控机床主要性能指标与功能

1.3.1 数控机床主要技术指标

(1) 规格尺寸: 数控车床主要有床身与刀架最大回转直径, 最大车削长度, 最大车削直径等; 数控铣床主要有工作台尺寸, 工作台 T 形槽规格, 工作台行程等。

(2) 主轴系统: 数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动, 具有较宽调速范围和较高回转精度, 主轴的刚度与抗振性比较好。数控机床主轴转速可达到 $5000 \sim 10000 \text{ r/min}$ 甚至更高, 由操作面板转速倍率开关调速, 每挡间隔 5%, 调节范围 50% ~ 120%。在车削加工端面时主轴能够恒定切削速度 (恒线速单位: m/min)。

(3) 进给系统: 该系统具有进给速度范围, 快进 (空行程) 速度范围, 运动分辨率 (最小移动增量), 定位精度和螺距范围等技术参数。

1) 进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素, 直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度限制。数控机床进给速度可达到 $10 \sim 30 \text{ m/min}$, 其中最大进给速度为加工的最大速度, 最大快进速度为不加工时移动的最快速度。进给速度通过操作面板进给倍率开关调整, 每挡间隔 10%, 调整范围为 10% ~ 200%。

2) 脉冲当量 (分辨率) 是 CNC 重要的精度指标。一是坐标轴达到的控制精度 (可以控制的最小位移量), 即 CNC 每发出一个脉冲时坐标轴移动的距离, 称为实际脉冲当量或外部脉冲当量; 二是内部运算的最小单位, 称之为内部脉冲当量; 为了不造成运算过程的精度损失, 通常把内部脉冲当量设置得比实际脉冲当量小。数控系统在输出位移量之前, 自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

实际脉冲当量决定于丝杠的螺距, 电动机每转的脉冲数, 机械传动链的传动比。其计算公式为

实际脉冲当量 = 传动比 $\times$ (丝杠螺距/电动机每转脉冲数)

数控机床加工精度和表面质量与脉冲当量大小密切相关。简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01 mm , 普通数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm , 精密或超精密数控机床的脉冲当量一般为 0.0001 mm , 数控机床的脉冲当量越小, 加工精度和表面质量越高。

3) 定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床工作台或其它运动部件, 实际运动位置与指令位置的符合程度, 其相差量即为定位误差。引起定位误差的原因包括: 伺服系统、检测系统、进给系统误差, 以及运动部件导轨的几何误差等。重复定位精度是指在相同的操作方法和条件下, 在完成规定操作次数过程中得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差, 它会影响批量加工零件的一致性, 是一项非常重要的性能指标。一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.01 \text{ mm}$, 重复定位精度为 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 。

(4) 刀具系统: 包括刀架工位数、工具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间、重复定位精度等各项内容。加工中心刀库容量与换刀时间直接影响生产率, 通常中小型加工中心的刀库容量为 16 ~ 60 把, 大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间是指自动换刀系统, 将主轴上的刀具与刀库中的刀具进行交换所用时间, 换刀一般可在 5 ~ 20s 时间内完成。

(5) 机床动力：包括主电动机、伺服电动机的规格、型号和功率等。

(6) 冷却系统：包括冷却箱容量，冷却泵输出量等。

(7) 外形尺寸：用长×宽×高表示。

(8) 机床重量。

1.3.2 数控系统的主要功能

1. 控制轴数与联动轴数 控制轴数是数控系统最多可以控制的坐标轴，其中包括移动轴和回转轴。联动轴数是数控系统可以控制同时运动的坐标轴。如某数控机床有 X、Y、Z 轴三个运动方向，而数控系统只能控制两个坐标（XY、YZ、XZ）方向的同时运动，则该机床的控制轴数为 3 轴，而联动轴数为 2 轴。X、Y、Z 轴是基本坐标轴，当多于 3 轴时，通常是 X、Y、Z 轴的平行辅助轴或回转轴。

2. 插补功能 数控机床能够实现的线型功能，如直线、弧线、螺旋线、抛物线、正弦曲线等。数控机床插补功能越强，能够加工的轮廓种类越多。

3. 进给功能 包括快速进给（空行程），切削进给；手动连续进给，点动进给；进给率修调（倍率开关）；自动加减速功能等。

4. 主轴功能 可以实现恒定转速，恒定线速，定向停止，转速修调（倍率开关）。通过主轴自动变速实现恒定线速，使刀具对工件切削点的线速度保持不变。主轴旋转定向（周向准确定位）停止，以方便自动换刀或精镗孔后的避让退刀。

5. 刀具功能 指自动选择刀具和自动更换刀具。

6. 刀具补偿 包括刀具位置补偿、半径补偿和长度补偿等。如车刀的刀尖半径、铣刀半径的半径补偿，以及数控铣床、加工中心沿深度方向对刀具长度变化的长度补偿。

7. 机械误差补偿 指数控系统可以自动补偿由机械传动间隙所产生的误差。

8. 操作功能 数控机床通常有单程序段的执行和跳段执行、试运行、图形模拟、机械锁定、暂停和急停等功能，有的还有软键盘（Soft Keyboard）操作功能。

9. 程序管理功能 指对加工程序的检索、编制、修改、插入、删除、更名、锁住、在线编辑后后台编辑（在执行自动加工的同时进行编辑），以及程序的存储通信等。

10. 图形显示功能 利用显示器（CRT）进行二维或三维、单色或彩色、图形缩放、坐标可旋转的刀具轨迹动态显示。

11. 辅助编程功能 如固定循环、镜像、图形缩放、子程序、宏程序、坐标旋转、极坐标等，可减少手工编程的工作量和难度，尤其适合三维复杂零件和加工工作量大的零件。

12. 自诊断报警功能 指数控系统对其软、硬件故障的自我诊断能力，该功能用于监视整个加工过程是否正常，并及时进行报警。

13. 通信与通信协议 数控系统都配有 RS232C 或 DNC 接口，为进行高速传输设有缓冲区。高档数控系统还可与 MAP 相连，能够适应 FMS、CIMS 的要求。

根据使用要求的不同，对性能指标和功能的考虑也会多种多样，因此选择数控系统时应根据实际需要决策，将各种功能进行有机的组合，以满足不同用户的要求。

1.3.3 数控机床的发展趋势

具有精密、柔性和高效功能的数控机床，随着社会需求的多样化和计算机等相关技术日新月异不断突破，将会向更广泛的领域和更深的层次发展。

1. 高速度、高精度和高效率 速度、精度和效率是机械制造技术的关键性能指标。采

用精简指令集计算机 (RISC, reduced instruction set computer) 芯片, 使用高速和多个 CPU 的控制系统, 以及高分辨率绝对式检测元件交流数字伺服系统, 同时采取改善机床动态特性和静态特性的有效措施, 数控机床高速度、高精度和高效率功能会不断地提高。

2. 控制人工智能化 实时系统与人工智能相结合, 沿着前馈控制、自适应、模糊、神经网络、学习和专家系统方向发展。如智能化数字伺服驱动装置, 能通过识别负载自动调整参数, 使驱动系统获得最佳运行状态。又如将加工的一般规律、特殊规律和加工经验存入智能化系统, 以工艺参数组成的数据库为支撑, 建立具有人工智能的专家系统。现在已经开发出模糊逻辑控制, 有自学习功能的人工神经网络电火花加工数控系统。

3. 柔性化和自动化 在数控单机柔性化程度不断提高的同时, 单元柔性化和系统柔性化已经成为重要的发展趋势。数控加工编程、检测、监控和管理的自动化控制水平, 以空前的速度迅速发展, 同时其标准化、通用化和“进线”适应能力得到有效增强, “无人化”管理生产模式已经开始趋于完善。

4. 复合化和多轴化 可以有效地减少多道工序和辅助时间的复合加工, 朝着多轴、多系列控制功能的方向发展。数控技术的进步提供了多轴和多轴控制, 如法拉科 15 系统可控轴数和联动轴数为 2~15 轴, 西门子 880 系统控制轴数可达 24 轴。

5. 高度集成化 采用集成化 CPU、RISC 芯片, 以及大规模集成 FPGA、EPLD、CPLD 和专用集成 ASIC 芯片, 可以使数控系统高度集成化。使用 FPD 平板技术超大显示图形, 通过窗口和菜单操作, 进行图形模拟仿真和动态跟踪, 显示三维立体彩色图形, 以及不同方向的视图和局部比例缩放, 全面实现图样编程和快速编程。

6. 网络化发展方向 数控机床联网可以实现远程化和“无人化”控制, 能够共享其中任何一台数控机床拥有的各种数据资源, 并且能够对其它数控机床进行编程、设定、操作、运行等各种控制, 各机床的显示图形和数据资源同时共享。

7. 开放式发展方向 基于 PC 可靠性、开放性和低成本, 以及软硬件资源日益丰富的发展方向, 机床数控技术开始由专用型、封闭式、开环控制模式, 向通用型、开放式、实时动态、闭环控制模式方向发展。将 PC 友好的人机界面纳入新型的数控系统, 普遍采用远程通信、远程诊断和远程维修势在必行。

复习思考题

1. 数控机床如何分类? 由哪些部分组成? 各部分起什么作用?
2. 数控机床主要有哪些功能指标? 什么叫二轴半联动数控机床?
3. 可编程序控制器 (PLC, Programmable Logic Controller) 有何作用?
4. 制造自动化协议 (MAP, Manufacturing Automation Protocol) 有何作用?
5. 何为柔性制造系统 (FMS, Flexible Manufacturing System)?
6. 何为计算机集成制造系统 (CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)?
7. 硬件数控 (NC, Numerical Control)、计算机数控 (CNC Computer Numerical Control)、微机数控 (MNC, Microcomputer Numerical Control) 三者之间有何区别?
8. 直接或分布数字控制 (DNC, Direct Numerical Control 或 Distributed Numerical Control) 通信接口有何作用?
9. 实际脉冲当量决定于丝杠的螺距, 电动机每转的脉冲数, 机械传动链的传动比。如何计算?