



全国高等职业教育示范专业规划教材
国家精品课程配套教材
国家示范建设院校课程改革成果
浙江省高校重点教材

数控设备应用与维护专业

数控机床装配、 调试与故障诊断

孙慧平 陈子珍 翟志永 编著

SHUKONG JICHUANG ZHUANGPEI
TIAOSHI YU GUZHANG ZHENDUAN

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配 电 子 课 件
教 师 免 费 下 载

全国高等职业教育示范专业规划教材 数控设备应用与维护专业
国家精品课程配套教材
国家示范建设院校课程改革成果
浙江省高校重点教材

数控机床装配、调试与故障诊断

孙慧平 陈子珍 翟志永 编著
傅建中 审



机械工业出版社

本书按照数控机床装配与调试工作过程,结合数控机床装调维修工职业资格证书考试的有关要求,以数控机床调试与装配生产案例的教学形式,阐述数控机床的结构组成;机械部件的装配、调试与故障诊断;电气控制元器件的选择、性能测试与装接;CNC控制单元的电气连接与调试;进给驱动系统和主轴驱动系统的连接、调试、常见故障诊断与维修;机床现场安装与验收等内容。

本书由长期从事数控机床开发的研究人员、数控机床生产管理人员和数控技术应用教学管理人员组成的编写组完成,可以作为高等工科院校的机械设计制造类专业、自动化类专业及其他相关专业学生学习数控技术的教材,也可作为高职高专院校数控技术、数控设备应用与维护、机电设备维修与管理、机电一体化等专业的教材,还可供工程技术人员作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床装配、调试与故障诊断/孙慧平,陈子珍,翟志永编著. —北京:机械工业出版社,2010.9

全国高等职业教育示范专业规划教材. 数控设备应用与维护专业 国家精品课程配套教材 国家示范建设院校课程改革成果 浙江省高校重点教材

ISBN 978-7-111-31675-6

I. ①数… II. ①孙…②陈…③翟… III. ①数控机床—装配(机械)—高等学校:技术学校—教材②数控机床—调试方法—高等学校:技术学校—教材③数控机床—故障诊断—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第166423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:郑丹 责任编辑:刘良超

版式设计:霍永明 责任校对:李婷

封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2011年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16印张·390千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31675-6

定价:28.00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

前 言

随着我国数控机床制造产业半个多世纪的发展，现在我国已经成为全球最大的数控机床生产国和消费国。由于目前与数控机床生产相关的机械制造、电气、计算机和数字控制等技术领域被划分成了不同的专业，还没有综合培养数控机床装配、调试、安装与维修人才的专业，数控机床生产商和用户都需要自行培养相关人才，数控机床装调维修工已成为紧缺的高技能人才。

为满足培养数控技术高端应用人才，以及适应高职院校专业调整的需要，作者组织了数控技术科研人员、数控机床生产企业的设计与生产管理人员、数控机床售后服务与维修人员以及高职院校一线教学管理人员，采用基于工作过程的项目化教学方式，编写了本书。本书以实例贯穿全文，详细介绍了数控机床从零部件和元器件选型、部件装配与连接、数控机床性能测试到数控机床安装、故障诊断的完整工作过程。学生通过完成特定部件的选型和安装调试，融合必需知识的学习，达到能够独立完成数控机床某一部件的装配、连接与调试的能力培养和知识学习目标。

本书以配置 SINUMERIK 802C 和 FANUC Oi 两种常用数控系统的数控铣床和斜导轨数控车床为实例讲解，帮助学生以较短的学习时间掌握数控机床装调工作的流程和内容，掌握机械、电气、计算机控制等方面的操作技能以及选型设计知识。

本书建议教学学时 84~96 学时，学生需要前修机械设计、数控编程与操作、电工电子基础及计算机控制等课程，建议采用理论与实践教学一体化实施教学方案。

本书由孙慧平、陈子珍、翟志永完成编写工作，由郭伟刚完成资料查找工作，宁波海天精工机械有限公司的刘日军、忻月海，宁波顺发机械设备制造有限公司的宋刚等提供了全书的生产教学案例，浙江大学傅建中教授对本书进行了审核。

由于作者水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。另有部分案例涉及生产保密要求省略了操作细节，需要教师结合教学条件进行重新编排，在此表示歉意。

作 者

目 录

前言

第 1 单元 数控机床整机结构	1
模块 1 数控机床的产生及分类	1
项目 1 数控机床的发展历程	1
项目 2 数控机床的分类及功能	2
模块 2 数控机床的构成	8
项目 1 剖析数控机床总体结构	8
项目 2 配置数控机床控制装置	9
模块 3 数控机床的未来	13
项目 1 未来的数控机床结构	13
项目 2 控制装置的发展趋势	15
项目 3 IT-MT 一体化编程方法	17
第 2 单元 数控机床机械部件	18
模块 1 数控机床本体	18
项目 1 认识数控机床本体结构	18
项目 2 机床本体的装配与调整	23
项目 3 床身关键尺寸检验	32
模块 2 工作台	40
项目 1 工作台的结构形式	40
项目 2 工作台的装配与检验	42
模块 3 换刀装置与刀库	44
项目 1 刀库的种类	44
项目 2 自动换刀的实现	45
项目 3 自动换刀故障的排除	47
第 3 单元 数控机床电气部件	49
模块 1 电气控制的实现方法	49
项目 1 电气控制功能的实现	49
项目 2 电气元器件的选用	54
模块 2 电气系统的连接	58
项目 1 电气连接的工作准备	58
项目 2 熟读电气原理图	61
项目 3 电气接线的技巧	64
模块 3 电气系统的通电调试	72
项目 1 电气系统的通电	72
项目 2 电气性能的检测	76
模块 4 电气系统常见故障排除	78
项目 1 电气元件故障诊断与排除	78
项目 2 PMC 常见故障的诊断与排除	81
第 4 单元 数控机床控制装置	85
模块 1 初识数控装置	85
项目 1 典型数控装置的结构	85
项目 2 数控装置的工作流程	90
模块 2 FANUC 0i 数控装置	98
项目 1 FANUC 0i 系统的硬件组成	98
项目 2 FANUC 0i 系统的硬件连接	102
项目 3 FANUC 0i 系统的调试	106
项目 4 FANUC 0i 故障诊断与排除	110
模块 3 SINUMERIK 802C 数控装置	116
项目 1 SINUMERIK 802C 系统的硬件组成	116
项目 2 SINUMERIK 802C 系统的硬件连接	117
项目 3 SINUMERIK 802C 系统的调试	126
项目 4 SINUMERIK 802C 系统故障诊断与排除	132
第 5 单元 进给伺服驱动系统	135
模块 1 进给伺服驱动系统的组成与功能	135
项目 1 初识进给伺服驱动系统	135
项目 2 典型进给伺服驱动系统的组成	137
项目 3 进给伺服驱动系统电气元件的选用	145
项目 4 进给伺服驱动系统机械部件的选用	158

项目 5 位置检测组件的选用	167	项目 3 加工中心主轴驱动系统的 调试	209
模块 2 进给伺服驱动系统的调试	171	模块 3 主轴驱动系统的故障诊断与 排除	212
项目 1 伺服控制单元的调试	171	项目 1 数控车床主轴驱动系统的故障 诊断与排除	212
项目 2 数控机床位置精度的调试	173	项目 2 数控铣床主轴驱动系统的故障 诊断与排除	216
项目 3 滚珠丝杠螺母副轴向间隙的 调整	175	项目 3 FANUC 主轴驱动系统的故障 诊断与排除	217
项目 4 传动间隙的补偿	176	项目 4 SIEMENS 611A 交流主轴驱动 系统的故障诊断与维修	222
项目 5 进给伺服驱动系统其他部件 调整	178	第 7 单元 数控机床的验收	225
模块 3 典型故障的诊断与排除	180	模块 1 数控机床的验收准备	226
项目 1 模拟式交流速度控制单元的 故障检测与维修	180	项目 1 数控机床的初就位	226
项目 2 数字式交流速度控制单元的 故障检测与维修	182	项目 2 数控机床验收工具的准备	228
项目 3 交流伺服电动机编码器的 维修	187	项目 3 开箱检验及外观检查	233
项目 4 进给系统其他部件的维修	188	模块 2 数控机床的功能检查	235
第 6 单元 主轴驱动系统	190	项目 1 数控机床的通电	235
模块 1 主轴驱动系统的组成与功能	190	项目 2 机床性能检查	236
项目 1 主轴驱动系统的功能分析	190	项目 3 数控功能检查	237
项目 2 典型主轴驱动系统的组成	193	项目 4 机床稳定性检查	238
项目 3 主轴驱动系统电气元件的 选用	195	模块 3 数控机床的精度验收	240
项目 4 主轴系统机械组件的选用	197	项目 1 几何精度的检验	240
模块 2 主轴驱动系统的调试	201	项目 2 定位精度的检验	241
项目 1 数控车床主轴驱动系统的调试 ..	205	项目 3 切削精度的检验	244
项目 2 数控铣床主轴驱动系统的 调试	208	参考文献	247

模块 1 数控机床的产生及分类

项目 1 数控机床的发展历程

教学目标：了解数控机床的发展历程，掌握数字控制方式、加工精度和加工速度等方面的演变过程。

思考与练习：简述数控机床的基本工作原理；列举各阶段的典型机床型号、规格。

数字控制机床是用数字代码形式的信息（程序指令），控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床，简称数控机床。

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的。军事工业需求是数控机床发展的原始动力，军事工业的发展不断促进数控机床升级。随着市场竞争的加剧，民用工业高精度、高效率、柔性化及批量生产，对数控机床产业化的要求更加迫切。纵观世界数控机床的发展史，大致可以分为四个阶段：

1. 起步阶段（1953～1979）

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出计算机控制机床的设想。1949 年，在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下，帕森斯公司开始数控机床的研究。

1952 年，美国麻省理工学院和吉丁斯·路易斯公司联合研制出世界上第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控升降台铣床，开创了数控机床产业发展的历史。

1956 年，联邦德国、日本、苏联等国分别研制出数控机床。20 世纪 60 年代初，美国、日本、联邦德国、英国相继进入数控机床商品化试生产阶段。当时的数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件；1959 年，晶体管元件印制电路板的问世，使数控装置进入了第二代，体积缩小，成本有所下降；1960 年以后，较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展，数控机床在机械制造业各部门逐步得以推广。

1965 年，出现了第三代的集成电路数控装置，其特点是体积小，功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，集成电路数控装置促进了数控机床品种和产量的发展。20 世纪 60 年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统（简称 DNC），又称群控系统；以及采用小型计算机控制的计算机数控系统（简称 CNC）。数控装置进入了以

小型计算机化为特征的第四代。

1974年,使用微处理器和半导体存贮器的微型计算机数控装置(简称MNC)研制成功,这是第五代数控系统。第五代与第三代相比,数控装置的功能扩大了一倍,而体积则缩小为原来的 $1/20$,价格降低了 $3/4$,可靠性也得到极大的提高。同时,数控机床的基础理论和关键技术有了新的突破,从而给数控机床发展注入了新的活力,世界发达国家的数控机床产业开始进入发展阶段。

2. 发展阶段(1980~1989)

20世纪80年代以来,微处理器运算速度快速提高,功能不断完善、可靠性进一步提高,出现了小型化、能进行人机对话式自动编制程序并可以直接安装在机床上的数控装置。数控机床的自动化程度进一步提高,监控、检测、换刀、外围设备得到了应用,具备自动监控刀具破损和自动检测工件等功能,使数控机床得到了全面发展。

3. 成熟阶段(1990~1999)

20世纪90年代,数控机床得到了普遍应用,数控机床技术有了进一步发展,柔性单元、柔性系统、自动化工厂开始得到应用,标志着数控机床产业化进入成熟阶段。

4. 向更高水平发展(2000~)

进入21世纪,军事技术和民用工业的发展对数控机床的要求越来越高,应用现代设计技术、测量技术、工序集约化、新一代功能部件以及软件技术的发展,使数控机床的加工范围、动态性能、加工精度和可靠性有了极大提高。科学技术,特别是信息技术的迅速发展,高速高精控制技术、多通道开放式体系结构、多轴控制技术、智能控制技术、网络化技术、CAD/CAM与CNC的综合集成,使数控机床技术进入了智能化、网络化、敏捷制造、虚拟制造的更高阶段。

新一代数控机床为提高生产效率不断向超高速方向发展,主轴转速可达 $15000\sim 100000\text{r/min}$;进给运动部件快速移动速度达 $60\sim 120\text{m/min}$,切削进给速度达 60m/min ,最高加速度达到 10g ;加工中心换刀时间减少至小于 1s 。主轴与刀具的接口以适合高速加工的HSK等接口为主,主轴径向圆跳动误差小于 $2\mu\text{m}$,轴向窜动小于 $1\mu\text{m}$,轴系不平衡度达到G0.4级。

项目2 数控机床的分类及功能

教学目标:熟悉数控机床的分类及主要功能,重点学习根据加工件的形状、加工精度及表面粗糙度等要求,选择数控机床种类的基本方法。

思考与练习:目前常用的数控机床主要有哪几种?其主要功能是什么?

数控机床分类方法很多,如低档、中档、高档、全功能等。一般按数控机床所配用数控系统的功能和配置,可分为高级型、普及型和经济型数控机床三种。数控系统与数控机床的分类见表1-1。

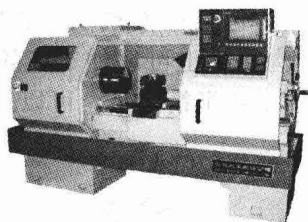
表 1-1 数控系统与数控机床的分类

类 型	主 控 器	进 给	联 动 轴 数	进给分辨率 / μm	进给速度 / $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	自动化程度
高级型	32 位以上 微处理器	交流 伺服驱动	5 轴及以上	0.1	100	具有通信联网、 监控、管理功能
普及型	16 位或 32 位 微处理器	交流或直流 伺服驱动	4 轴及以下	1	20	具有人机对话 接口
经济型	单板机 单片机	步进电机 驱动	3 轴及以下	10	10	功能较简单

常用数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控电火花成形机床、数控电火花线切割机床及数控磨床。

1. 数控车床（车削中心）

数控车床（见图 1-1）是目前使用最广泛的数控机床之一，主要用于加工轴类、盘类等回转体零件，能自动完成内外圆柱面、圆锥面、成形表面、螺纹和端面等切削加工，并能进行车槽、钻孔、扩孔、铰孔等工作。车削中心可在一次装夹中完成更多的加工工序，提高加工精度和生产效率，特别适合于复杂形状回转类零件的加工。



a) 数控车床



b) 数控车削中心

图 1-1 数控车床

数控车床品种繁多，规格不一，可按如下方法进行分类。

按主轴位置分类可分为立式数控车床和卧式数控车床。

(1) 立式数控车床 立式数控车床简称为数控立车，其主轴垂直于水平面，并有一个直径很大的圆形工作台用于装夹工件。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

(2) 卧式数控车床 卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排除切屑。

按工件基本类型分类可分为卡盘式数控车床和顶尖式数控车床。

(1) 卡盘式数控车床 这类车床没有尾座，适合车削盘类（含短轴类）零件。夹紧方式多为电动或液动控制，卡盘结构多采用可调式或不淬火的卡爪。

(2) 顶尖式数控车床 这类车床配有普通尾座或数控尾座，适合车削较长的零件及直径不太大的盘类零件。

按刀架数量分类可分为单刀架数控车床和双刀架数控车床。

(1) 单刀架数控车床 数控车床一般都配置有各种形式的单刀架，如四工位转动刀架或

转塔式自动转位刀架。

(2) 双刀架数控车床 这类车床的双刀架配置平行分布,也可以是相互垂直分布。

按功能分类可分为经济型数控车床、普通数控车床和车削加工中心。

(1) 经济型数控车床 采用步进电动机和单片机对卧式车床的进给系统进行改造后形成的简易型数控车床,成本较低,但自动化程度和功能都比较差,车削加工精度也不高,适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

(2) 普通数控车床 根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床,数控系统功能强,自动化程度和加工精度也比较高,适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴,即 X 轴和 Z 轴。

(3) 车削加工中心 在普通数控车床的基础上,增加了 C 轴和铣削动力头,更高级的数控车床还带有刀库,可控制 X 、 Z 和 C 三个坐标轴,可以联动控制 (X 、 Z 轴, X 、 C 轴或 Z 、 C 轴)。由于增加了 C 轴和铣削动力头,车削中心的加工功能大大增强,除可以进行一般车削外还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的加工。

2. 数控铣床

铣削与车削的原理不同,铣削时刀具回转完成主运动,工件作直线(或曲线)进给。旋转的铣刀是由多个切削刃组合而成的,因此铣削是非连续的切削过程。

铣削加工是机械加工中最常用的加工方法之一,包括平面铣削、轮廓铣削、钻、扩、铰、镗、铰及螺纹加工,主要用来加工平面及各种沟槽,也可以加工齿轮、花键等成形面(或槽),如图 1-2 所示。一般情况下,铣削属于粗加工和半精加工,可以达到的公差等级为 $IT9 \sim IT7$ 级,表面粗糙度 Ra 值为 $6.3 \sim 1.6 \mu m$ 。

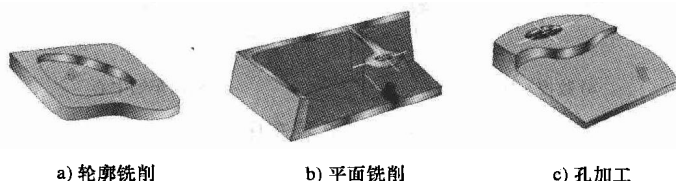


图 1-2 常见铣削加工方式

数控铣床按构造可以分成工作台升降式数控铣床、主轴头升降式数控铣床和龙门式数控铣床。

(1) 工作台升降式数控铣床 这类数控铣床采用工作台移动、升降,而主轴不动的方式,常见于小型数控铣床,如图 1-3a 所示。

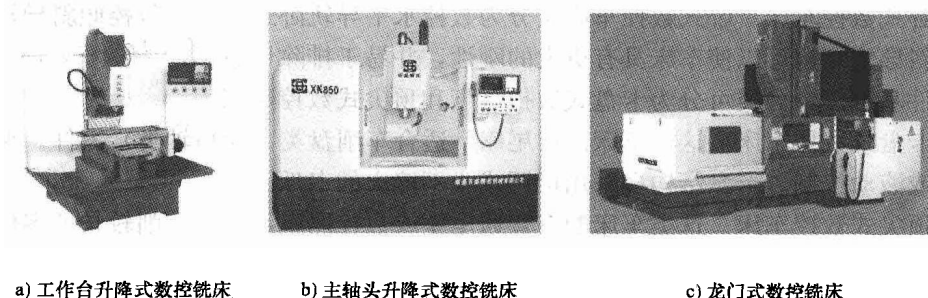


图 1-3 数控铣床

(2) 主轴头升降式数控铣床 这类铣床采用工作台纵向和横向移动, 主轴沿溜板上下移动的形式。主轴头升降式数控铣床在精度保持、承载重量、系统构成等方面具有很多优点, 已成为数控铣床的主流形式, 如图 1-3b 所示。

(3) 龙门式数控铣床 这类数控铣床主轴可以在龙门架的横向与垂直溜板上运动, 而龙门架则沿床身作纵向运动。大型数控铣床, 因考虑到扩大行程、缩小占地面积及刚性等技术上的问题, 往往采用龙门架移动式, 如图 1-3c 所示。

数控铣削加工一般用于下列零件的生产:

- 1) 轮廓形状复杂或难以控制尺寸的零件, 如模具零件、壳体类零件。
- 2) 用数学模型描述的复杂曲线零件以及三维曲面类零件。
- 3) 需要进行多道工序加工, 精度要求高的零件。

3. 加工中心

加工中心是目前世界上产量最高、应用最广泛的数控机床之一。加工中心综合加工能力较强, 工件一次装夹后能完成较多的加工内容, 加工精度高。对于中等加工难度的批量工件, 其效率是普通设备的 5~10 倍, 特别适用于下列零件的加工。

(1) 周期性复合投产零件 有些产品的市场需求具有周期性和季节性, 如果采用专门的生产线则投资大、收益低; 用普通设备加工效率又太低, 质量不稳定, 数量也难以保证。而采用加工中心完成首件试切后, 程序和相关生产信息可保留下来, 产品再生产时只要很短的准备时间就可以开始生产。

(2) 高效、高精度零件 有些零件需求量少, 但属于关键部件, 要求精度高且工期短。用传统工艺需用多台机床协调工作, 周期长、效率低, 在长工序流程中, 受人为因素的影响易出废品, 从而造成重大经济损失。而采用加工中心进行加工, 生产完全由程序自动控制, 避免了长工艺流程, 减少了硬件投资和人为因素的影响, 具有生产效益高及质量稳定的优点。

(3) 合适批量零件 加工中心生产的柔性不仅体现在对特殊要求的快速反应上, 而且可以快速实现批量生产, 拥有并提高市场竞争能力。加工中心适合中小批量, 特别是小批量生产。

(4) 形状复杂零件 四、五轴联动加工中心使工件的复杂程度大幅提高。DNC 的使用使同一程序的加工内容足以满足各种加工要求, 使复杂零件的自动加工变得非常容易。加工中心还适合加工多工位和多工序集中的工件、难测量工件。

加工中心的种类也是多种多样, 可以按下列方式进行分类:

按换刀形式分类可分为带刀库机械手的加工中心、机械手加工中心和带转塔式刀库的加工中心。

(1) 带刀库机械手的加工中心 换刀装置由刀库、机械手组成, 换刀动作由机械手完成。

(2) 机械手加工中心 换刀过程由刀库、主轴箱配合动作来完成。

(3) 带转塔式刀库的加工中心 一般应用于小型加工中心, 以孔加工为主。

按机床形态分类可分为卧式加工中心、立式加工中心、龙门加工中心和万能加工中心。

(1) 卧式加工中心 主轴轴线为水平状态, 一般具有 3~5 个运动坐标。常见的有三个直线运动坐标和一个回转坐标, 使工件能够一次性完成除安装面和顶面以外的其余四个面的

加工,适用于复杂的箱体类零件、泵体、阀体等零件的加工,如图1-4a所示。

(2) 立式加工中心 主轴轴线为垂直状态设置,一般具有三个直线运动坐标,工作台具有分度和旋转功能,可在工作台上安装一个水平轴的数控回转工作台用以加工螺旋线零件。立式加工中心(见图1-4b)适用于简单箱体、箱盖、板类零件和平面凸轮的加工。

(3) 龙门加工中心 与龙门铣床类似,适用于大型或形状复杂的零件加工。

(4) 万能加工中心 也称五面体加工中心,工件装夹后能够完成除安装面外的所有面的加工,具有立式和卧式加工中心的功能。万能加工中心常有两种形式:一种是主轴可以旋转 90° ,既可像立式加工中心一样,也可像卧式加工中心一样;另一种是主轴不改变方向,而工作台旋转 90° ,完成对工件五个面的加工,如图1-4c所示。

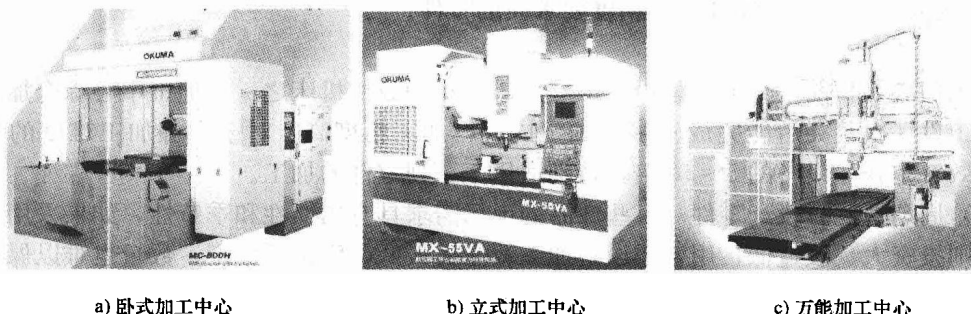


图1-4 数控加工中心

4. 数控电火花加工机床

电火花加工在特种加工中是比较成熟的工艺。在民用、国防和科学研究等领域已经获得了广泛应用,其设备类型较多,但按工艺过程中工具与工件相对运动的特点和用途来分,大致可以分为六大类。其中,应用较广、数量较多的是电火花成形加工机床和电火花线切割机床,如图1-5所示。

(1) 电火花线切割机床 电火花线切割加工是利用工具电极(钼丝)与工件两极之间脉冲放电时产生的电腐蚀现象对工件进行加工。两电极在绝缘液体中靠近时,由于两电极的微观表面凹凸不平,使其电场分布不均匀,离得最近的两凸点间的电场强度最高,极间介质被击穿,形成放电通道,电流迅速上升。在电场作用下,通道内的电子高速奔向阳极,离子奔向阴极形成火花放电,电子和离子在电场

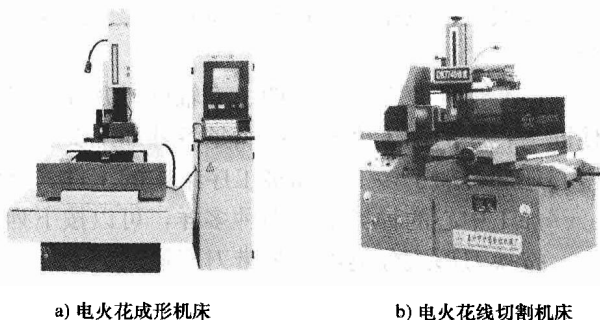


图1-5 电火花加工机床

作用下高速运动时相互碰撞,阳极和阴极表面分别受到电子流和离子流的轰击,使电极间隙内形成瞬时高温热源,通道中心温度超过 10000°C ,从而使局部金属材料熔化和气化。

电火花线切割加工广泛应用于加工各种冲模;有微细异形孔、窄缝和复杂形状的工件;样板和成形刀具;粉末冶金模、镶拼型腔模、拉丝模、波纹板成型模;硬质材料、切割薄片,切割贵重金属材料;凸轮及特殊齿轮。

(2) 电火花成形加工机床 电火花成形加工机床的工作原理与电火花线切割机床一样,只是工具电极是成形电极,与要求加工出的零件有相适应的截面或形状。

电火花成形加工机床广泛用于宇航、航空、电子、核能、仪器、轻工等部门各种难加工材料和复杂形状零件的加工,加工范围从几微米的孔、槽,到几米大的模具和零件。

难加工材料的去除加工靠放电热腐蚀作用实现,加工性能主要取决于材料的热学性质,如熔点、比热容、热导率等,而几乎与其力学性能无关。这样可以通过先采用切削加工硬度比工件低的电极,再用电火花成形机床加工难加工材料。电火花加工可在材料淬硬后进行,避免了热处理变形的修正问题。多种型腔可整体加工,避免了常规机械加工方法因需拼装而带来的误差。

对于特殊及复杂形状零件,由于电极和工件之间没有接触式相对切削运动,不存在机械加工时的切削力,故适宜加工低刚度工件和进行微细加工。当脉冲放电时间短时,材料被加工表面受热影响的范围小,适用于热敏感材料加工。

模块 2 数控机床的构成

项目 1 剖析数控机床总体结构

教学目标：了解数控机床典型结构组成、工作原理和各部分主要功能。

思考与练习：以本校常用数控机床为例，说明其各部件的主要功能及规格型号。

数控机床主要由数控装置、伺服机构和机床本体组成。

1. 数控装置

数控装置也称为数控系统，包括程序读入装置和由电路组成的输入部分、运算部分、控制部分和输出部分等。输入数控装置的程序指令记录在信息载体上，由程序读入装置接收，或由数控装置的键盘直接手动输入。数控装置按所能实现的控制功能分为点位控制、直线控制、连续轨迹控制三类。

(1) 点位控制 只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位，然后进行定点加工，而点与点之间的路径不需控制。采用这类控制的有数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等。

(2) 直线控制 除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外，还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削。采用这类控制的有平面铣削用的数控铣床，以及阶梯轴车削和磨削用的数控车床和数控磨床等。

(3) 连续轨迹控制（或称轮廓控制） 连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动。为了使刀具按规定的轨迹加工工件的曲线轮廓，数控装置具有插补运算的功能，使刀具的运动轨迹以最小的误差逼近规定的轮廓曲线，并协调各坐标方向的运动速度，以便在切削过程中始终保持规定的进给速度。采用这类控制的有加工曲面用的数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。

2. 伺服机构

伺服机构分为开环、半闭环和闭环三种类型。

(1) 开环伺服机构 由步进电动机驱动电路、电动机组成。每一脉冲信号使步进电动机转动一定的角度，通过滚珠丝杠螺母副推动工作台移动一定的距离。这种伺服机构比较简单，工作稳定，容易掌握使用，但精度和速度的提高受到限制。

(2) 半闭环伺服机构 由比较电路、伺服放大电路、伺服电动机、速度检测器和位置检测器组成。位置检测器装在丝杠或伺服电动机的端部，利用丝杠的回转角度间接测出工作台的位置。常用的伺服电动机有宽调速直流电动机、宽调速交流电动机以及伺服电动机。位置检测器有旋转变压器、光电式脉冲发生器和圆光栅等。这种伺服机构所能达到的精度、速度和动态特性优于开环伺服机构，为大多数中小型数控机床所采用。

(3) 闭环伺服机构 工作原理和组成与半闭环伺服机构相同，只是位置检测器安装在工作台上，可直接测出工作台的实际位置，故反馈精度高于半闭环控制，但调试的难度较大，

常用于高精度和大型数控机床。闭环伺服机构所用伺服电动机与半闭环伺服机构相同，位置检测器则用长光栅、长感应同步器或长磁栅。

3. 机床本体

不同类型的数控机床的本体结构有很大的区别。

数控车床主要由床身、主轴电动机和主轴、刀架、尾座、液压冷却润滑系统和排屑器等部分组成，如图 1-6 所示。

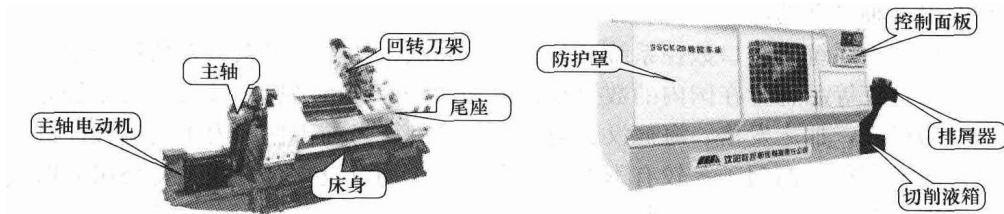


图 1-6 数控车床主体结构

数控铣床本体主要由铣床基础部件、主传动系统、进给系统、实现工作回转定位的装置与附件、实现某些部件动作和辅助功能的系统与装置等组成。铣床基础部件通常称之为铣床大件，包括床身、床鞍、立柱、工作台等。主传动系统主要有主轴箱、Z 轴电动机联轴器座、Z 轴滚动导轨、滚珠丝杠等。进给系统包括 X-Y 轴滚动导轨、X-Y 滚珠丝杠等。辅助系统包括液压、气动、润滑、冷却等系统，以及排屑、防护等装置。数控铣床本体结构如图 1-7 所示。

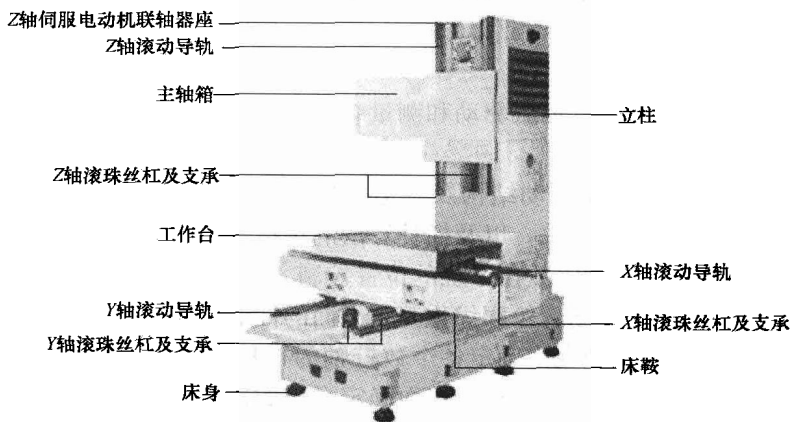


图 1-7 数控铣床本体结构

项目2 配置数控机床控制装置

教学目标：了解根据数控加工要求选择和配置数控系统的一般方法。

思考与练习：加工要求主要指哪几个方面？数控系统的主要技术指标有哪些？

数控系统的配置和功能选择是数控机床生产的重要工作。配置什么样的数控系统,以及选择哪些数控功能,都是机床生产企业和最终用户十分关注的问题。

1. 国内外主要数控系统

(1) 国产数控系统 华中数控、广州数控、北京凯恩帝数控、大森数控等国产数控系统,发展至今已有十余年历史。在国家的大力扶植下已有了很大的发展,不但在经济型数控系统方面实现了规模化生产,而且在中档数控系统的研发及产业化上取得了突破,华中数控已成功开发出五轴联动的数控系统。

(2) 进口数控系统 进口数控系统可分为日系和欧系两类。日系以发那科为主,辅以三菱、大隈、马扎克等品牌,在国内的数控车、铣和加工中心市场拥有较大的市场份额。欧系则以西门子为代表,加之发格、海德汉、力士乐等品牌,目前占据国内中高端数控机床市场的主流地位。发那科、西门子等较有影响力的大公司,均以设立合资或独资公司的形式在中国建厂,实现了部分产品的本地化制造。

(3) 专用数控系统 美国哈斯、格里森等公司大多开发有自己的数控系统软件,移植到通过 OEM 贴牌定制的其他品牌数控系统上,甚至直接兼并一些小的数控系统品牌,从而拥有自己的数控硬件平台。一般而言,这类专用数控系统都集成了机床制造商拥有自主知识产权的专利技术,在一些特殊加工领域有其独到之处,适用于专业规模化生产中的整条流水线的集中装备。

(4) 开放式数控系统 开放式数控系统一般是在普通 PC 工控机上插入相应的运动控制卡,可运行于 Windows 环境下,用户可以自由配置数控系统的其他软硬件。开放式数控系统因其良好的开放性,最初很受一些科研院所的欢迎,随着技术的不断进步,现已逐渐向普通工业场合推广。

2. 数控系统功能的选择

数控系统主要由控制单元、伺服驱动和测量系统三部分组成,数控系统功能选择也是围绕这三个部分展开的。

1) 根据机床的几何结构和传动结构及其运动插补关系确定数控通道数(坐标系个数)和伺服轴(直线轴和回转轴)个数,以及插补算法的选择等。

2) 根据机床的精度要求确定数控系统的位置控制方式(开环/半闭环/闭环),以及对数控系统的多程序预读、光滑控制、轮廓优化等多方面的性能要求。

3) 根据机床的加工范围和规格确定各个数控轴的行程,同时通过对加工范围所覆盖的典型零件的加工工艺和工序流程的分析,进而确定合理的进给速度和主轴转速。

4) 根据机床的控制动作框图及其复杂程度,如是否配置刀库、交换工作台、自动上下料装置等辅助机构,有无加工工件的节拍要求等,确定数控系统的档次要求(包括内置 CPU 个数,可扩展的外部 I/O 点数以及多任务处理能力等)。

在确定了数控装置的主要功能及技术指标要求之后,还需合理地选择适合机床的可选功能,放弃可有可无或不实用的可选功能,以提高产品的性价比。

(1) 动画/轨迹显示功能 用于模拟零件加工过程,显示真实刀具在毛坯上的切削路径,可以选择直角坐标系中的两个不同平面同时显示,也可选择不同视角的三维立体显示;可以在加工的同时作实时的显示,也可在机械锁定的方式下作加工过程的快速描绘。这是一种检验零件加工程序、提高编程效率和实时监视的有效手段。

(2) 外接存储器接口 通过这种数据传送工具可以将系统中已经调试完毕的加工程序存入外接存储器存档,也可以通过它将在其他计算机生成的加工程序存入 NC 系统,从而减少加工程序的输入时间,还可以用它作各种机床数据的备份或存储,给编程和操作人员带来很大方便。

(3) DNC-B 通信功能 由非圆曲线或曲面组成的零件加工程序的编制十分困难,通常的办法是借助于通用计算机,将它们划分为微小的三维直线段后再编写加工程序,所以程序容量极大。

DNC-B 通信功能具有两种工作方式:其一是在个人计算机和数控系统的加工程序存储区之间进行双向的程序传送;其二是将个人计算机的加工程序逐段传送到数控系统的缓冲运行存储器,边加工边传送,直到加工结束。这就解决了大容量程序零件的加工问题。虽然选用这项功能需要增加一定的费用,但它确实是性价比很高的选项。

选择扩充内存容量也是解决曲面加工的有效方法。例如大隈 OSP 系统的最大运行缓冲存储器容量为 512KB。程序存储器容量可以扩充到 4MB,这样就可以满足大部分模具加工的需要。与采用 DNC-B 方式相比,它的优点是省去了个人计算机这个环节,使运行更加可靠,操作也比较方便。

(4) 简化编程功能 为了提高编程的效率,缩短加工程序的长度,发挥程序存储器的潜力,数控系统提供了一些简化程序编制的方法。

1) 固定循环:将钻孔、镗孔、攻螺纹及腔体和周边加工等常用的加工工序编写成参数式的固定循环程序,编程时由用户填入基面、孔深、每次进给量以及主轴转速和进给速度等数据就可完成预定的加工工序,并可多次重复使用。

2) 坐标计算功能:利用数控系统的实时计算能力,将以斜线、圆周和网格等各种规则分布的孔加工工序编写成参数式的固定循环程序,编程时由用户填入角度、半径、孔数、行数和列数等数据就可完成预定的加工工序。

3) 子程序功能:用户可以将零件中多处用到的同一加工工序编成子程序,在相应的部位调用,从而缩短加工程序的长度。

4) 用户宏程序:用户可以利用系统提供的各种算术、逻辑和函数运算符以及各种分支语句,来组成描述工件形状的数学表达式,在程序执行过程中,数控系统边运算,边输出结果,用很短的程序就可以实现特殊曲线和曲面的加工。

5) 刚性攻螺纹功能:刚性攻螺纹功能必须采用伺服电动机来驱动主轴,不仅要求在主轴上增加位置传感器,而且对主轴传动机构的间隙和惯量都有严格的要求,所以不能忽略这个功能的成本。对用户来说,如果没有高速、高精度、特种材料或大直径孔加工等特殊的要求,可以采用弹性伸缩卡头,在一般主轴上进行柔性攻螺纹来满足加工要求,不必选用刚性攻螺纹功能。

6) 刀具寿命管理功能:在加工中心上是否要选用刀具寿命管理功能,必须考虑工件的批量、刀具和毛坯质量的一致性以及刀库的容量等因素,否则,不仅会造成许多人为的错误,影响生产的正常进行,而且备用刀具占用的刀位也将大大减少刀库的有效容量,使一些复杂零件因刀位不足而无法加工。

7) 自动刀具半径/长度和工件测量功能:加工程序中的刀具运动轨迹通常按刀具中心和刀尖编写,所以在程序执行前必须输入相应的刀具半径和长度,这对加工中心尤其重要。刀