



机电类 **新技师** 培养规划教材

数控机床编程与操作

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG
YU CAOZUO

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

廖怀平 主编

赠送 电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机电类新技师培养规划教材

数控机床编程与操作

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组编

廖怀平 主编



机械工业出版社

本套教材是根据中国机械工业教育协会全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本教材的主要内容包括：数控机床概述、数控机床的主要机构、典型数控机床、数控机床的控制系统、数控机床操作与加工技术等，共计六章。每章附有复习思考题。

本套教材的教学计划和大纲是依据《国家职业标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以必需、够用为度，符合职业教育的特点和规律。本教材配有电子教案，包括教学计划和大纲、习题及其解答，可供高级技校、技师学院、高等职业院校等教育培训机构使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程与操作/廖怀平主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 2

机电类新技师培养规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 23500 - 2

I. 数… II. 廖… III. ①数控机床 - 程序设计 - 技术培训 - 教材②数控机床 - 操作 - 技术培训 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 020248 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: 王英杰 邓振飞

责任编辑: 马 晋 版式设计: 冉晓华 责任校对: 张莉娟

封面设计: 王伟光 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 4 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.5 印张 · 381 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 23500 - 2

定价: 27.00 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) 88379083

封面无防伪标均为盗版

机电类新技师培养规划教材 编审委员会

主 任 郝广发 季连海

副 主 任 刘亚琴 徐 彤 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 付志达

李晓庆 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 员 于正明 王 军 王 德 王兆山 王英杰 付志达 冯小平

李 涛 李全利 许炳鑫 张正明 杨君伟 何月秋 何秉成

周冠生 孟广斌 赵杰士 郝晶卉 贾恒旦 徐卫东 凌爱林

奚 蒙 章振周 梁文侠 喻勋良 曾燕燕

策 划 组 王英杰 徐 彤 何月秋 荆宏智

本书主编 廖怀平

本书参编 宁丰美 张 熿 周学民 林志强 邓铭铭 方 博

本书主审 毛 青

前言

随着全球知识经济的快速发展,我国工业化建设也呈现迅猛发展之势,因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求,我国出台了一系列大力发展职业教育的政策:劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》,继续实行职业准入制度,并将国家职业资格由三级(初、中、高)改为五级(初、中、高、技师、高级技师),对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革,高职学院、中职学校相应地改制、扩招,以培养更多的技术工人。

经过几年的努力,技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解,但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家,而且他们年龄普遍偏大,文化程度偏低,学习高新技能比较困难。为打破这一局面,加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养,劳动和社会保障部提出的“新技师培养带动计划”,即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上,力争“十一五”期间在全国培养技师和高级技师190万名,培养高级技工700万名,使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此,劳动和社会保障部决定:除在企业中培养和评聘技师外,要探索出一条在技师学院中培养技师的道路来。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定,制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位,经过广泛的调研论证,决定首批选定五个工种(职业)——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、课程设置、学时安排、教学计划、教学大纲、教材定位、编写方式等,参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求,结合各校、各地区企业的实际,经过历时三年的充分论证,完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作,并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师,招收的学员必须符合条件是:已取得高级职业资格(国家职业资格三级)的高级技校的毕业生,或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则,其特点如下:

(1) 教材内容新,贴合岗位实际,满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用,作为技师必须适应这种要求,教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外,教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识、要求和技能要求为基础,设置的实训项目或

实例从岗位的实际需要出发,是生产实践中的综合性、典型性的技术问题,既最大限度地体现学以致用目的,又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对每个工种(职业),均编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加快,我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应,因此,技师应该是具有高超操作技能的复合型人才。例如,模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手,还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工,以适应现代制造业的发展趋势,故此《相关工种技能训练(模具工)》中,就包含上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养带动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度,现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师,各专题理论与实践融合在一起的编写方式,更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才,还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才,有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题,少推理,重应用;《应用文写作》除介绍普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外,还教授科技文书的写法,其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 本套教材配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点,教师上课的板书,本章小结、配套习题及答案等等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持,编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师,保障了这套教材的质量。在此,对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢!

本书由廖怀平统稿并任主编,宁丰美、张燊、周学民、林志强、邓铭铭、方博参加编写,毛青任主审。

由于编写时间和编者水平所限,书中难免存在不足或错误,敬请广大读者不吝赐教!

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

目 录

前言	复习思考题	37
第一章 数控加工技术概述	第三章 典型数控机床	38
第一节 数控加工基本知识	第一节 HM-077 型数控车床	38
一、数控机床的定义	一、HM-077 型数控车床的组成及 主要技术参数	38
二、数控机床的产生与发展过程	二、HM-077 型数控车床的布局	38
第二节 数控机床的组成及分类	三、HM-077 型数控车床的传动系统与 典型结构	40
一、数控机床的组成	四、HM-077 型数控车床的数控系统	44
二、数控机床的工作原理	第二节 XKJ-5025 型数控铣床	44
三、数控机床的分类	一、XKJ-5025 型数控铣床的总体布局与 主要部件	44
第三节 数控加工的特点与加工范围	二、XKJ-5025 型数控铣床的主要技术 参数	45
一、数控加工的特点	三、XKJ-5025 型数控铣床主要部件的 特点	45
二、数控机床的加工范围	第三节 VMC-15 型加工中心	47
复习思考题	一、VMC-15 型加工中心的布局与 组成	47
第二章 数控机床的主要机构	二、VMC-15 型加工中心的技术性能	48
第一节 数控机床的主传动系统	三、VMC-15 型加工中心的传动系统及 典型结构	48
一、主传动系统的要求	第四节 数控电火花机床	52
二、主传动系统的传动方式	一、电火花加工	52
三、主轴部件	二、电火花线切割加工	54
第二节 数控机床的进给伺服系统	复习思考题	57
一、概述	第四章 数控机床的控制系统	58
二、伺服驱动装置	第一节 数控系统概述	58
三、数控进给传动结构	第二节 数控机床常用的数控系统	59
四、数控进给传动导轨	一、SIEMENS 数控系统	59
第三节 数控机床的刀具及其自动换刀 装置	二、FANUC 数控系统	60
一、数控加工刀具概述	第三节 数控机床 PMC	61
二、数控车床刀具及其自动换刀装置	一、PMC 概述	61
三、镗铣类数控机床与加工中心刀具 及其自动换刀装置	二、数控机床 PMC 的动作要求	61
四、刀具的测量	三、PMC 程序总体结构	62
第四节 数控机床的位置检测装置	第四节 数控机床的强电控制系统	62
一、旋转变压器	一、加工中心 PMC 的输入/输出信号	63
二、光电盘		
三、光电编码器		
四、光栅测量装置		
五、磁尺测量装置		
六、感应同步器		

二、数控机床故障的判定	64	三、其他功能	119
复习思考题	65	四、数控铣床的基本编程方法	120
第五章 数控机床的编程基础	66	五、数控铣床综合编程实例	137
第一节 程序编制的基本概念	66	第十节 加工中心基本指令的编程	139
一、程序编制的内容与步骤	66	一、换刀指令	139
二、加工程序的编制方法	67	二、参考点操作指令的编程	140
三、程序的基本构成	67	三、FAMU 数控系统宏指令编程	141
第二节 数控机床的坐标系	68	四、加工中心综合编程实例	149
一、标准坐标系	69	第十一节 数控电火花线切割的编程	152
二、坐标系的类型	71	一、3B 代码编程	152
三、零点与参考点	72	二、4B 代码编程	155
第三节 程序编制中的基本指令	73	三、ISO 代码数控程序编制	156
一、准备功能指令——G 指令	73	四、数控电火花线切割综合编程实例	161
二、辅助功能指令——M 指令	77	第十二节 自动编程简介	164
第四节 数控编程中的工艺处理	79	复习思考题	168
一、选择并决定零件适合在数控机床上加 加工的内容	79	第六章 数控机床的操作与加工 技术	173
二、对零件图样进行数控加工工艺分析, 明确技术要求	80	第一节 数控车床的操作与加工技术	173
三、具体设计加工工序	80	一、GSK980T 的 LCD/MDI 面板	173
四、选择刀具和夹具	80	二、编辑方式	175
五、确定切削用量	80	三、自动方式	180
第五节 数控车削加工工艺	81	四、录入方式	182
一、数控车削加工的主要对象	81	五、回零	185
二、典型零件的数控车削加工工艺 分析	82	六、手动操作	186
第六节 数控铣削加工工艺	85	七、安全操作	188
一、数控铣削加工的主要对象	85	八、加工技术与练习	189
二、典型零件的数控铣削加工工艺 分析	86	第二节 数控铣床、加工中心的操作与加工 技术	193
第七节 加工中心的加工工艺	88	一、机床的基本操作	193
一、加工中心的主要加工对象	88	二、加工技术	203
二、典型零件在加工中心上的加工工艺 分析	90	三、程序输入	211
第八节 数控车床的编程	92	四、切削加工	211
一、准备功能	92	五、加工实例	211
二、辅助功能	94	第三节 电火花机床的操作与加工技术	214
三、其他功能	94	一、电火花机床的结构	214
四、数控车床的基本编程方法	96	二、电火花机床的安全操作	214
五、数控车床综合编程实例	116	三、电火花机床的维护和保养	214
第九节 数控铣床的编程	117	四、电火花电极材料	214
一、准备功能	117	五、电火花电极制作	214
二、辅助功能	118	六、电火花电极校正	215
		七、电火花机床的操作（以 ELITE 机型为例）	215
		八、手控盒的按键及功能	224

第一章 数控加工技术概述

本章应知

1. 掌握数控、数控技术的定义，懂得数控机床的加工原理
2. 了解数控机床的组成及分类方法
3. 了解数控机床的加工特点

本章应会

1. 掌握数控技术的定义
2. 掌握数控机床的工作原理
3. 掌握数控机床的组成

第一节 数控加工基本知识

一、数控机床的定义

数控即数字控制 (Numerical Control)，是计算机数字程序控制的简称。将计算机通过特定处理方式下的数字信息 (不连续变化的数字量)，用于机床自动控制的技术通称为数控技术 (Computer Numerical Control，缩写为 CNC)。数控技术与通过连续变化的模拟量的程序控制 (即顺序控制) 有着截然不同的性质。数控技术广泛应用于测量、理化试验与分析、物质与信息传输、建筑以及科学管理等领域。

20 世纪 50 年代，当科技人员首次把计算机作为一种控制装置移植到古老的机床中，一种新产品——数控机床诞生了。数控机床是数控技术与机床相结合的产物，是一种通过数字信息控制机床按给定的运动规律进行自动加工的机电一体化新型加工装备。它的出现成功地解决了单件、小批量，特别是复杂型面零件的加工自动化，并有效地保证了加工质量，缩短了生产周期。数控机床综合了微电子技术、计算机、自动控制、自动检测以及精密机械等技术的最新成果而迅速发展。目前，几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的应用领域也从航空工业逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造行业。相继出现的加工中心、计算机群控系统、自适应控制系统、柔性制造系统和计算机集成制造系统，说明了数控机床已经成为组成现代化机械制造生产系统，实现设计 (CAD)、制造 (CAM)、检验 (CAT) 与生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。利用数控机床实现的自动加工称为数控加工，也称为 NC 加工，是将待加工零件进行数字化表达，数控机床按数字量控制刀具和零件的运动，从而完成零件加工的过程。

二、数控机床的产生与发展过程

1948 年，美国帕森斯公司受美国空军委托，与麻省理工学院伺服机构研究所合作进行数控机床的研制工作。1952 年，第一台三坐标立式数控铣床试制成功。但第一台工业用数控机床直到 1954 年 11 月才生产出来。此后其他一些工业国家，如德国、日本、英国、俄罗斯等相继开始开发、研制和应用数控机床。数控机床也不断地更新换代，大致经历了如下

过程:

第一代数控机床:从1952年至1959年,采用电子管器件。

第二代数控机床:从1959年开始,采用晶体管器件。

第三代数控机床:从1965年开始,采用集成电路。

第四代数控机床:从1970年开始,采用大规模集成电路及小型通用计算机。

第五代数控机床:从1974年开始,采用微处理器或微型计算机。

早期的数控机床控制系统采用电子管,其体积大、功耗高,仅局限于军事部门应用。只有当电子微处理机用于数控机床后,才真正使数控机床得到了普及。

我国数控机床的研制从1958年开始,由清华大学研制出了最早的样机。1966年我国开发出了第一台用直线—圆弧插补的晶体管数控系统。1970年初成功研制了集成电路数控系统。1980年以来,通过研究和引进技术,我国数控机床的发展很快,现已掌握了5~6轴联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等多项关键技术。

第二节 数控机床的组成及分类

一、数控机床的组成

数控机床主要由数控装置、伺服系统、检测系统、机床本体和辅助系统组成。

1. 数控装置

数控装置是数控机床的控制中心,被喻为“中枢系统”。数控装置由输入装置、运算控制器(CPU)和输出装置等构成。数控装置的功能是接受控制介质上的各种信息,经过识别译码后,送到运算控制器进行计算处理,再经过输出装置将运算控制器发出的控制命令送到伺服系统,驱动机床完成相应的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元(CPU)又称为微处理器,是一种大规模集成电路,它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中,输入与输出电路也采用了大规模集成电路,即所谓的I/O接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器,并采用高密度的存储介质,如半导体存储器和磁盘存储器等。

2. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行机构,包括驱动、执行和反馈装置。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求与位置、速度反馈信号相比较后驱动机床的移动部件或执行部件动作,从而加工出符合图样要求的零件。指令信息以脉冲信号表示,反映到机床移动部件上的移动量称为脉冲当量,常用的脉冲当量为0.001~0.01mm,脉冲当量在设计数控机床时即已确定。

伺服系统直接影响数控机床的速度、位置、加工精度和表面粗糙度等。当前数控机床的伺服系统常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。后两者都带有光电编码器等位置测量元件,可用来精确控制工作台的实际位移量和移动速度。

3. 检测系统

检测系统用来检测机床执行件(工作台、转台、滑板等)的位移速度变化量,并将检测结果反馈到输入端,与输入指令进行比较,根据其差别调整机床运动。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的实体,是完成实际切削加工的机械部分,它包括床身、工作台、床鞍、主轴等。它与普通机床相比较有所改进,具有以下特点。

1) 数控机床采用了高性能的主轴及伺服系统,机械传动结构简化,传动链较短。

2) 机械结构具有较高的刚度、阻尼精度及较好的耐磨性能,且热变形小。

3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

与普通机床相比,数控机床的外部造型、整体布局,传动系统与刀具系统的部件以及操作机构等方面都发生了很大变化。这些变化的目的是为了满足不同数控机床的要求,充分发挥数控机床的特点。因此,必须建立数控机床设计的新概念。

5. 辅助系统

辅助系统主要包括换刀机构、工件自动交换机构、工件夹紧机构、润滑装置、冷却装置、照明装置、排屑装置、液压气动系统、过载保护与限位保护装置等。

二、数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-1 所示。首先分析被加工零件的图样,根据工件的形状、尺寸等技术要求,采用手工或计算机按运动顺序和所用数控机床规定的指令代码及程序格式编成加工程序单,并将这些程序代码存储在穿孔纸带、磁带、磁盘及其他信息载体上(或直接用键盘输入到数控装置中),然后经输入装置,读出信息并送入数字控制装置。数控装置就依照指令带上的数码指令进行一系列处理和运算,将信息变成脉冲信号,并将其输入驱动装置,驱动机床传动机构。机床工作部件按程序要求自动有次序地进行工作(如工件夹紧与放松,冷却液的开闭,刀具的自动更换,各轴的进给等),加工出符合图样要求的零件。

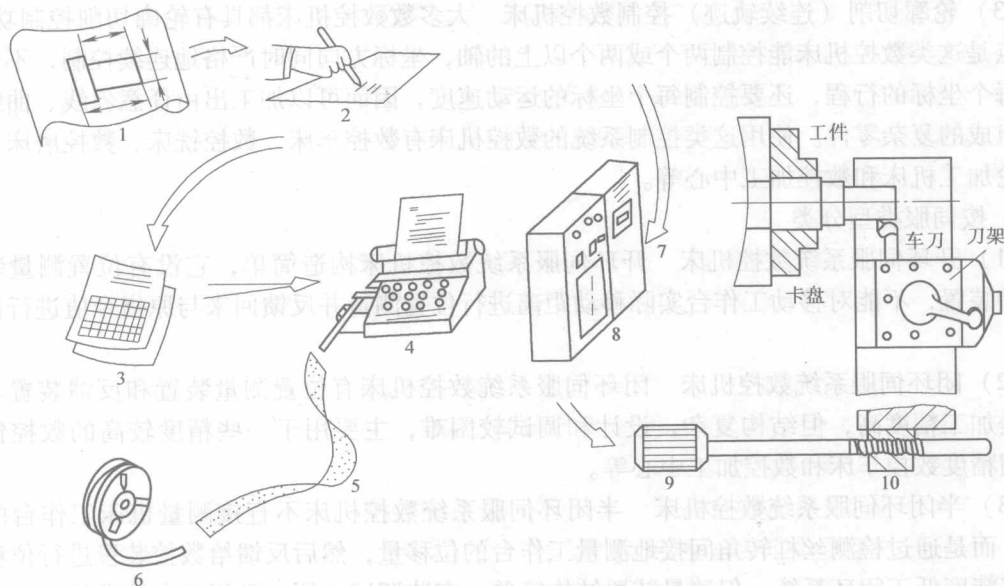


图 1-1 数控机床的工作原理

三、数控机床的分类

数控机床的种类很多,可按不同的方法进行分类。

1. 按工艺类型分类

(1) 金属切削类数控机床 金属切削类数控机床的发展最早,其种类繁多,功能差异大。与传统的通用机床一样,这类数控机床主要包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床、数控齿轮加工机床及数控加工中心等。

(2) 金属成形类数控机床 金属成形类数控机床主要包括数控弯管机、数控组合冲床和数控转头压力机等。这类机床起步晚,但发展较快。

(3) 数控特种加工机床 数控特种加工机床主要包括数控线(电极)切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机和数控激光切割机等。

(4) 其他类型的数控机床 其他类型的数控机床主要有数控三坐标测量机床等。

2. 按运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床 点位控制数控机床的特点是控制刀具或机床工作台等移动部件的终点位置,即控制移动部件由一个点准确地移动到另一个点,而点与点之间的运动轨迹没有严格要求。并且,在移动和定位过程中刀具不进行任何切削加工。因此,为了尽可能减少移动部件的运动时间和提高定位精度,通常先快速移动到接近终点坐标,然后进行1~3次减速,再准确移动到定位点,以保证定位精度。使用这类控制系统的数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机和数控测量机等。

(2) 直线控制数控机床 直线控制数控机床的特点是刀具相对于工件的运动既要控制起点与终点之间的准确位置,又要控制刀具在这两点之间运动的速度和轨迹。刀具相对工件移动的轨迹是平行于机床某一坐标轴的直线方向,刀具在移动过程中进行切削。使用这类控制系统的数控机床有数控车床、数控钻床、数控铣床和数控磨床等。

(3) 轮廓切削(连续轨迹)控制数控机床 大多数数控机床都具有轮廓切削控制功能,其特点是这类数控机床能控制两个或两个以上的轴,坐标方向同时严格地连续控制,不仅要控制每个坐标的行程,还要控制每个坐标的运动速度,因而可以加工出由任意斜线、曲线或曲面组成的复杂零件。使用这类控制系统的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床和数控加工中心等。

3. 按伺服类型分类

(1) 开环伺服系统数控机床 开环伺服系统数控机床构造简单,它没有位置测量装置和反馈装置,不能对移动工作台实际移动距离进行位置测量并反馈回来与原指令值进行比较校正。

(2) 闭环伺服系统数控机床 闭环伺服系统数控机床有位置测量装置和反馈装置。其特点是加工精度高,但结构复杂,设计和调试较困难,主要用于一些精度较高的数控镗铣床、超精度数控车床和数控加工中心等。

(3) 半闭环伺服系统数控机床 半闭环伺服系统数控机床不直接测量机床工作台的位移量,而是通过检测丝杠转角间接地测量工作台的位移量,然后反馈给数控装置进行位移校正。其精度低于闭环系统,但测量装置结构简单,安装调试方便,常用于中档数控机床,如数控车床、数控铣床和数控磨床等。

(4) 混合环伺服系统数控机床 将以上三类控制系统的特点有选择地集中起来,就组成混合环控制系统。这种系统特别适用于大型数控机床,因为大型数控机床需要较高的进给速度和返回速度,又需要相当高的精度,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台全部置于控制环中,影响因素十分复杂,难以调试稳定。混合环伺服系统数控机床实际上是半闭

环和闭环系统的混合形式。其中，内环是速度环，控制进给速度；外环是位置环，主要对数控机床进给运动的坐标位置进行控制。现在采用这类方式控制的数控机床越来越多。

4. 按联动轴分类

联动是指各个坐标轴同时达到空间某一点。数控机床的计算机数控系统能够控制的坐标数目反映了计算机数控系统的运算处理能力，它与计算机的内存容量和运算速度密切相关。目前世界上的数控系统最高能控制几十个轴（即坐标）。

（1）二轴联动数控机床 数控车床加工曲面回转体；某些数控铣床，二轴联动可铣斜面。

（2）三轴联动数控机床 数控铣床和数控加工中心，三轴联动可加工曲面零件。

（3）二轴半联动数控机床 这是指有三个坐标控制轴（X、Y、Z），其中任意两个轴联动，第三轴做周期性等距运动。例如，某些数控钻铣床。

（4）多轴联动数控机床 这是指联动轴数达四轴或四轴以上的数控机床。例如，多轴联动数控铣床和多轴联动数控加工中心等。

5. 按数控装置的功能水平分类

按数控装置的功能水平通常把数控机床分为低、中、高档三类。这种分类方式在我国用得很多。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期的划分标准会有所不同。就目前的发展水平看，可以按照一些功能及指标将各种类型的数控机床分为低、中、高档三类（见表 1-1）。

表 1-1 不同档次的数控功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	8 ~ 15	15 ~ 24	24 ~ 100
伺服进给类型	开环及步进电动机系统	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数/轴	2 ~ 3	2 ~ 4	≥ 5
通信功能	无	RS—232C 或 DNC	RS—232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU

第三节 数控加工的特点与加工范围

一、数控加工的特点

数控加工是以数值与符号构成的信息来控制机床实现自动运转的加工。数控加工经历了半个世纪的发展已成为应用于当代各个制造领域的先进制造技术。其加工的最大特征有两点：一是可以极大地提高精度，包括加工精度及加工时间误差精度；二是加工质量稳定，可保持加工零件的一致性。数控加工有如下优点。

1) 提高加工精度并保证加工质量，降低次品率。

2) 减少各工序间的转换，减少工装夹具。原来需要用多道工序完成的工序，用数控加

工可一次装夹完成,缩短加工周期,提高生产效率。

3) 容量进行加工过程管理,可以减少检查工作量。便于设计变更、加工柔性化。

4) 不需熟练的机床操作人员。容易实现操作过程的自动化,一个人可以操作多台机床。并且操作容易,极大减轻体力劳动强度。

二、数控机床的加工范围

数控机床是一种高度自动化的机床,有一般机床所不具备的许多优点,所以数控机床加工技术的应用范围在不断扩大。但数控机床的机电一体化程度高、技术含量高、成本高,因此对使用与维修都有较高的要求。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适应程度将加工零件分为下列三类:

1. 最适合数控加工的零件

1) 形状复杂,加工精度要求高,批量较小,用通用机床很难加工或很难保证加工质量的零件。

2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

3) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒形零件。

4) 必须在一次装夹中完成铣、镗、镓、铰及攻螺纹等多工序的零件。

2. 较适合数控加工的零件

1) 在通用机床上加工时,加工质量易受人为因素影响,且零件价值又高,一旦失控便造成重大经济损失的零件。

2) 在通用机床上加工时必须制造复杂的专用工装夹具的零件。

3) 需要多次改进后才能定形的零件。

4) 在通用机床上加工需要作长时间调整的零件。

5) 在通用机床上加工时,生产率很低或劳动强度很大的零件。

3. 不适合数控加工的零件

1) 大批大量生产的零件(如标准件),用专用机床生产效率更高。

2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。

3) 加工余量很不稳定,且在数控机床上无在线检测系统来自动调整零件坐标位置的零件。

4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

综上所述,建议:对于多品种小批量零件,结构较复杂、精度要求较高的零件,需要频繁改型的零件,价格昂贵、不允许报废的关键零件和需要最小生产周期的急需零件采用数控加工。

复习思考题

1. 什么叫数控技术?

2. 数控机床是由哪几部分组成的?各部分的作用是什么?

3. 简述数控机床的加工原理。

4. 比较开环伺服系统、半闭环伺服系统和闭环伺服系统的数控机床的不同点。

5. 什么叫联动?解释二轴半联动的含义。

第二章 数控机床的主要机构

本章应知

数控机床主传动系统、进给伺服系统、自动换刀装置和位置检测装置等主要组成部分的结构特点和工作原理

本章应会

掌握数控机床主要机构的工作原理和性能特点，学会分析各机构的运行特征

随着数字控制技术应用在数控机床上的发展，以及数控机床高刚度、高精度、高速度的要求，使得数控机床逐步发展到现在，具有独特的结构特点。它在总体布局、传动系统、刀具装置以及操作辅助机构等方面发生了很大变化，最主要的是克服了普通机床传动链长、传动结构刚性不足、抗振性差、滑动面的摩擦阻力大，以及传动元件的间隙大等缺点。

第一节 数控机床的主传动系统

一、主传动系统的要求

1. 宽调速、无级调速

为了在数控加工时合理选用切削用量，提高生产率及零件表面质量，要求数控机床主轴转速具有更大的调速范围。例如，为了在数控车床上实现恒线速切削，主传动系统应实现无级变速。

2. 高刚度、低噪声

主传动系统的精度与刚度直接影响着加工零件的精度。为此，数控机床的主传动链要短、传动件精度与刚度要高，主轴的支承跨距要合理，噪声要降到最低限度。

3. 高抗振性、高热稳定性

在数控加工过程中，切削力等诸多因素会使主轴产生振动，严重影响零件表面粗糙度，甚至损坏加工刀具。另外，摩擦、切削热等还会使主传动系统产生热变形，从而造成加工误差。为此，数控机床的主传动系统必须具有良好的抗振性和热稳定性。

二、主传动系统的传动方式

1. 齿轮传动

齿轮传动是目前大、中型数控机床中使用较多的一种主传动配置方式。一般采用无级调速主电动机，通过带传动和主轴箱内2~3级变速齿轮带动主轴运转，这样可使主轴箱的结构大大简化。由于主轴的变速是通过主电动机无级变速与齿轮有级变速相配合来实现的，因此既可扩大主轴的调速范围，又可扩大主轴的输出转矩。图2-1所示是齿轮传动的主传动系统。

2. 带传动

带传动是一种由无级变速主电动机经带传动直接带动主轴运转的主运动形式，图2-2所示是这种形式的主传动系统。

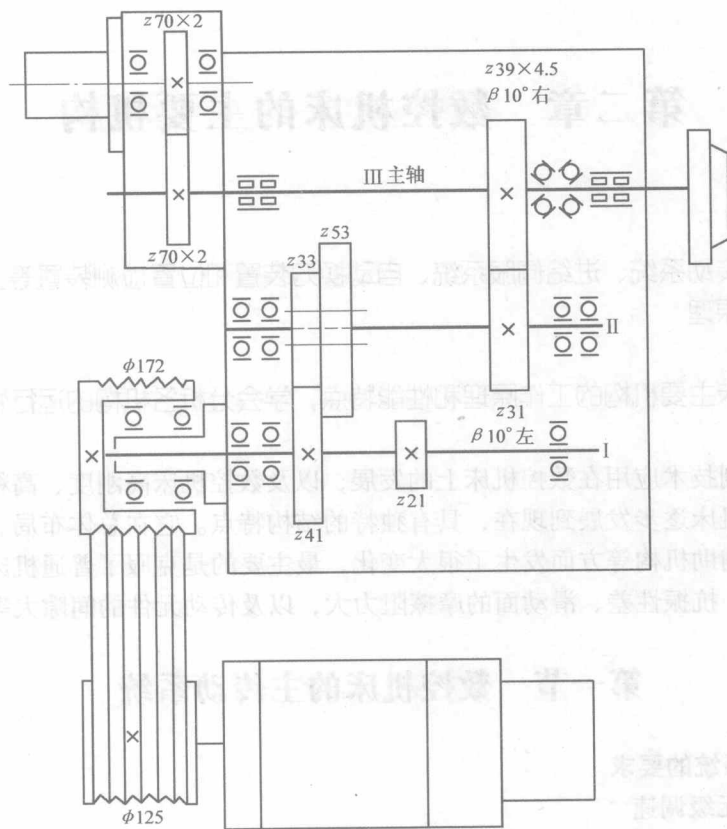


图 2-1 齿轮传动的主传动系统

这种变速方式可避免齿轮传动时引起的振动与噪声，提高主轴的运转精度。一般适用于中小型数控机床等调速范围不需太大，转矩也不需太大的场合。

3. 主轴电动机直联传动

主轴电动机直联传动是将主电动机直接与主轴连接，驱动主轴转动，如图 2-3 所示。

这种传动方式的主轴箱体与主轴结构简单，且主轴刚度较高。由于减少了带减速传动链，主轴输出转矩较小。此外，主轴电动机产生的热量对主轴精度影响较大。

近年来，出现了一种内装式电动机主轴，即主轴与电动机的转子合为一体，而电动机的定子则与主轴箱体固定，如图 2-4 所示。这种形式使主轴部件的结构紧凑、重量轻、惯量小，可提高主轴的启动、停止响应特性，有利于控制振动和噪声，且主轴的最高转速可达 20000r/min 以上。但是，这种传动方式最大的缺点是主电动机运转时产生的热量易使主轴产生热变形。因此，采用内

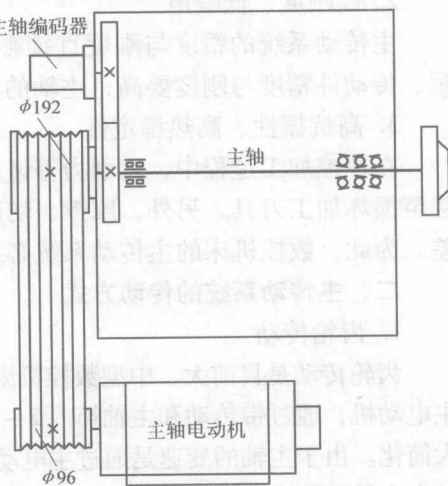


图 2-2 带传动的主传动系统