

高等学校
电子信息类 规划教材

微机数控技术 及其应用

曹 凤 编著



电子科技大学出版社

高等学校
电子信息类 规划教材

微机数控技术及其应用

曹 凤 编著

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书以机床数字控制的基本原理和实施方式为主,力求既讲清概念,又结合国内外数控技术应用的实际。主要内容有:机床数控技术的基础知识及发展趋势;数控加工程序编制,微机数控的基本原理,计算机数控系统,数控机床用可编程控制器(PLC),数控机床的伺服系统(包括常用检查元件),数控机床的安装、调试、操作及维修。各章均附思考题。

本书为高等专科学校机械电子技术、机床数控技术、应用电子技术、计算机控制等机电类专业的专业教材,也可作为职业大学、业余大学、电视大学及函授大学机电工程类专业的教材或教学参考书,同时可供机电工程有关工程技术人员参考。

微机数控技术及其应用

曹 凤 编著

*

电子科技大学出版社出版

(成都建设北路二段四号) 邮编 610054

成都新华印刷厂印刷

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 400 千字

版次 2000 年 8 月第一版 印次 2000 年 8 月第一次印刷

印数 1—1000 册

标准书号 7-81065-495-0/TH·5

定价:21.60 元

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办协商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

数控技术集传统的机械制造技术、计算机应用技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术等高新技术于一体,是现代工业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。由于数控技术在当代工业发展中具有十分重要的作用,几十年来,数控技术在国内外得到迅猛发展,同时也成为高等工科院校机电类专业教学的重要专业课程之一。

本教材是根据原电子工业部高等专科学校电子机械专业指导委员会的统编教材规划并结合机械电子技术(机电一体化)、机床数控技术、应用电子技术等专业教学计划和课程大纲编写的。

本书在内容安排上,以机床数字控制的基本原理和实施方法为主,力求既讲清概念,又结合国内外数控技术应用的实际。本书还编写了数控系统以及数控机床的编程、操作、安装调试和维修方面的内容,以满足高等专科学校培养面向生产第一线的应用型人才的需要。全书共七章,内容包括:机床数控技术的基础知识及发展趋势,数控机床的工作原理、分类及特点,数控加工程序编制,微机数控的基本原理及实现方法,计算机数字控制系统,数控机床用可编程控制器(PLC),数控机床的伺服系统,数控机床的安装、调试、操作及维修等。为便于学生自学及巩固所学知识,各章均附思考题。

本书由成都电子机械高等专科学校曹凤任主编,南京机械高等专科学校卢虹霞、成都电子机械高等专科学校罗垂敏参加了本书的编写。其中:第一、三、四、七章由曹凤编写,第二章由罗垂敏编写,第五、六章由卢虹霞编写,成都电子机械高等专科学校蒋勇敏参加了本书第三章第二节部分内容的编写。全书由曹凤负责统稿和定稿。

本书由四川大学机械制造学院马济永教授主审。

本教材已被原电子工业部高等专科学校电子机械专业指导委员会确定为部级重点教材。

限于编者的水平和经验,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编者

1999年5月

目 录

第一章 机床数控技术基础知识

第一节	数控机床的基本概念	(1)
一	数控技术与数控机床	(1)
二	数控机床的产生和发展	(1)
第二节	数控机床的构成及工作原理	(3)
一	数控机床的构成	(3)
二	数控机床的工作原理	(4)
第三节	数控机床的分类	(5)
一	按控制运动轨迹分类	(5)
二	按伺服系统控制方式分类	(5)
三	按同时控制的坐标轴数分类	(7)
四	按功能水平分类	(8)
五	按工艺用途分类	(8)
第四节	数控机床的特点及发展趋势	(8)
一	数控机床的特点	(8)
二	数控机床的发展趋势	(9)
三	制造系统自动化	(14)
	思考题	(17)

第二章 数控加工的程序编制

第一节	概述	(18)
一	数控编程的内容	(18)
二	数控编程的步骤	(18)
三	数控编程的方法	(19)
第二节	常用数控标准	(19)
一	穿孔带及代码	(19)
二	数控机床的坐标系	(20)
三	零件加工程序结构与格式	(23)

第三节	常用数控指令及编程方法	(26)
一	准备功能指令及编程方法	(26)
二	辅助功能指令及其应用	(33)
三	进给功能 F, 主轴功能 S, 刀具功能 T	(33)
第四节	数控编程中的数值计算及工艺处理	(35)
一	程序编制中的数值计算	(35)
二	数控编程中的工艺处理	(38)
第五节	编程举例	(39)
一	数控车床的程序编制	(39)
二	数控加工中心的编程	(45)
第六节	数控自动编程简介	(54)
一	自动编程的基本原理	(54)
二	自动编程数控语言 APT	(54)
	思考题	(57)

第三章 微机数控的基本原理

第一节	零件加工程序的输入及数据处理	(59)
一	数据存放形式	(60)
二	译码	(61)
三	运动轨迹计算	(62)
四	运动速度计算	(69)
第二节	数控加工的插补原理简介	(69)
一	概述	(69)
二	脉冲增量插补	(71)
三	数据采样插补	(90)
四	平面高次曲线及空间曲线的插补原理	(94)
第三节	进给速度及加减速控制	(102)
一	进给速度控制	(102)
二	加减速控制	(104)
第四节	误差补偿原理	(107)
一	齿隙补偿	(107)
二	螺距误差补偿	(107)
三	热变形引起系统性误差的补偿	(109)
	思考题	(110)

第四章 计算机数字控制(CNC)系统

第一节 概述	(112)
一 CNC 系统的组成	(112)
二 CNC 装置的组成	(113)
三 CNC 装置的工作过程	(113)
第二节 CNC 装置的硬件结构	(115)
一 专用计算机数控装置的体系结构	(115)
二 通用 PC 数控装置的体系结构	(120)
三 微机数控的硬件实现	(120)
第三节 CNC 装置的软件结构	(133)
一 CNC 装置的硬、软件平台	(133)
二 CNC 装置的软件结构特点	(134)
三 CNC 装置的软件结构	(136)
四 CNC 装置典型软件举例	(139)
第四节 CNC 装置的数据输入输出及通信功能	(141)
一 常用输入输出设备及接口	(141)
二 通信及网络接口	(144)
第五节 CNC 装置的诊断功能	(149)
一 起动诊断	(149)
二 在线诊断	(150)
三 离线诊断	(150)
四 诊断技术的发展方向	(151)
第六节 CNC 装置的主要技术指标和特点	(152)
一 CNC 装置的主要技术指标	(152)
二 CNC 装置的主要特点	(154)
第七节 典型 CNC 装置简介	(155)
一 国外主要 CNC 装置的生产厂及其典型产品	(155)
二 国内主要 CNC 装置的生产厂及其典型产品	(163)
思考题	(166)

第五章 数控机床用可编程控制器(PLC)

第一节 概述	(168)
一 PLC 的基本结构	(168)
二 PLC 的基本工作原理	(169)

三	PLC 的功能	(170)
四	PLC 的特点	(171)
第二节	数控机床控制对象及接口信号	(171)
一	控制对象	(171)
二	数控机床中 PLC 的分类	(171)
三	PLC 的规格	(173)
四	接口信号	(174)
五	常用的开关量 I/O 模块接口电路	(176)
第三节	PLC 的编程方式	(179)
一	梯形图编程语言	(179)
二	指令表	(179)
三	其它编程语言	(182)
第四节	PLC 控制系统设计	(182)
一	PLC 控制系统设计的一般步骤	(182)
二	PLC 的选择	(183)
三	PLC 程序设计方法	(183)
第五节	PLC 应用举例	(185)
一	基本指令	(187)
二	功能指令	(189)
三	应用实例	(191)
	思考题	(194)

第六章 数控机床的伺服系统

第一节	概述	(195)
一	数控机床对进给伺服系统的要求	(195)
二	数控机床对主轴伺服系统的要求	(196)
三	伺服系统常用驱动电机调速基础知识	(196)
第二节	数控机床进给驱动及速度控制	(200)
一	进给驱动及速度控制的常用电路	(200)
二	直流进给伺服驱动系统	(212)
三	交流进给伺服驱动系统	(221)
第三节	数控机床的主轴驱动系统	(229)
一	直流主轴驱动系统	(229)
二	交流主轴驱动系统	(230)
第四节	常用的位置检测装置	(239)
一	测量方式	(239)
二	感应同步器	(240)

三	光栅	(241)
四	编码器	(243)
第五节	位置控制	(244)
一	开环控制伺服系统	(244)
二	闭环控制伺服系统	(254)
	思考题	(258)

第七章 数控系统的调试与维修

第一节	数控系统的验收、安装及调试	(259)
一	通电前检查	(259)
二	局部通电调试	(261)
三	全面性能检查	(262)
第二节	数控系统的操作	(262)
一	操作面板	(262)
二	数控系统操作步骤	(264)
三	机床参数的设定与维修	(266)
第三节	数控系统的维修	(267)
一	数控系统可靠性与维修的基本概念	(267)
二	预防性维修	(269)
三	故障维修	(270)
	思考题	(278)
	参考文献	(278)

第一章 机床数控技术基础知识

第一节 数控机床的基本概念

一、数控技术与数控机床

数字控制(Numerical Control)是近代发展起来的一种自动控制技术,是用数字化的信息对某一对象进行控制的技术。控制对象可以是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量。这些量的大小不仅是可测得的,而且可以经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号来表示。

数控机床就是采用了数控技术的机床。数控机床将零件加工过程所需的各种操作(如主轴变速、主轴起动和停止、松夹工件、进刀与退刀、冷却液开或关等)和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,由编程人员编制成规定的加工程序,通过输入介质(磁盘或键盘)送入专用或通用计算机控制系统,由计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其它执行机构运动,使机床自动地加工出所需要的工件。

数控技术是实现工业自动化的一门基础技术。除数控机床外,采用了数控技术的机械设备(称数控设备)还有数控气割机、数控弯管机、数控冲剪机、数控压力机、数控绘图机、数控测量机、数控雕刻机、电脑绣花机、衣料开片机等。数控机床是数控设备的典型代表,现代数控机床综合应用了微电子技术、计算机技术、精密检测技术、伺服驱动技术以及精密机械技术等多方面的最新成果,是典型的机电一体化产品。

二、数控机床的产生和发展

社会经济的进步和科学技术的发展,对机械制造技术提出了许多新的和更高的要求,主要表现在以下几方面:

1. 加工精度越来越高、形状越来越复杂

随着生产和科学技术的发展,特别是航空、航天、造船、电子和兵器等工业的发展,机电产品日趋精密、复杂。如空对空导弹中红外线接收器的非球面反射镜,其形状误差为 $(0.1 \sim 0.3)\mu\text{m}$;激光打印机的平面反射镜和录像机磁头的平面度要求为 $0.04\mu\text{m}$,粗糙度为 $0.02\mu\text{m}$;高精度轴承的滚动体圆度要求小于 $0.5\mu\text{m}$;轿车汽缸缸体中缸孔和连杆两端圆孔的圆柱度要求也在 $1\mu\text{m}$ 以内。为了提高效率,减少阻力和降低噪声,飞机的螺旋桨、涡轮发动机的叶片、潜水艇的推进器等都具有极其复杂的空间曲面;为了美观和节约材料,轿车、家电等许多产品零件的模具形状也是非常复杂的,精度要求也很高。所有这些都要求机械制造技术必须具有实现高精度和稳定地加工形状复杂零件表面的能力。

2. 高自动化、高效率 and 具有柔性

由于科技日新月异的发展,机电产品的升级、换代加快,改型频繁,用户的需求也日趋多

样化和个性化。据统计:在机械加工中,小批量生产的零件约占 70%~80%。并且世界市场变得比以前更开放,市场竞争愈来愈激烈。机械制造的企业要生存、要发展,必须具有快速适应市场变化的应变能力,即能根据市场情况以最快的速度进行生产调整,推出适销对路的产品。这就要求企业的制造技术必须具有高自动化、高效率和尽可能大的柔性(灵活性),以提高企业竞争能力。

3. 改善工人的劳动条件

随着人们的物质文化生活水平的提高,人们对劳动时间和劳动条件提出了更高的要求。因此,要求现代机械制造技术能够使加工操作简单化、自动化,从而减少劳动时间、减轻工人劳动强度,改善劳动条件。

上述这些对现代机械制造技术的要求,显然用普通机床和钢性化的专用自动生产线、流水线是不可能综合满足的。因此迫切需要一种灵活、通用、高精度、高效率、能适应产品频繁变化的柔性自动化机床,以满足生产发展的需要。数控机床正是在这样的情况下产生并发展起来的。它已由开始阶段为解决单件、小批量形状复杂的零件加工,发展到为减轻劳动强度、保证加工质量、降低成本和增加企业竞争能力,在中批甚至大批量的零件加工中得到越来越多的应用。

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早是为满足航空工业加工复杂零件的需要而提出的。1948年,美国北密执安的一个小型飞机工业承包商帕森兹(Parsons)公司在制造飞机框架及直升飞机叶片轮廓检验用样板时,利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理,并考虑了刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到较高的程度。后来受美国空军委托与麻省理工学院(MIT)合作开始了将三坐标铣床数控化的研究工作。1952年,研制出了世界上第一台数控机床,使用的是电子管元件。该铣床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。从第一台数控机床问世至今的50年中,随着微电子技术的不断发展,数控系统也在不断地更新换代,先后经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路及小型计算机(1970年)和微处理机或微型计算机(1974年)等五代。前三代数控系统属于采用专用控制计算机的硬逻辑接线数控系统,称普通数控系统(NC)。70年代初,随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降,小型计算机开始取代专用数控计算机,数控的许多功能由软件程序实现。这种数控系统称为计算机数控系统(CNC),又称为软接线数控系统。1970年前后,美国英特尔(Intel)公司开发出了微处理器,1974年,美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统,这就是第五代微机数控系统(MNC)。由于计算机数控系统(CNC和MNC)的控制功能大部分由软件技术来实现,因而使硬件结构进一步得到简化,系统可靠性提高,功能更加灵活和完善。CNC与MNC的控制原理基本相同,目前趋向于采用成本低、功能强的MNC。

在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种也不断地发展。1956年日本富士通公司研制出了数控转塔式冲床,1958年美国K&T公司研制出带有自动刀具交换装置的加工中心(Machining Center)。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从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造行业。目前,世界数控机床的年产量超过15万台,产值超过200亿美元。数控机床的总拥有量达100万台以上,品种也超过1500种。随着计算机技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,为单机数

控化向计算机控制的多机制造系统自动化发展奠定了基础。相继出现了直接数字控制系统(DNC)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)。DNC系统是由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统(Direct NC);FMS是若干台数控机床和加工中心(或其它自动化设备)通过一套自动物料(包括工件和刀具)搬运系统连接起来,由分布式多级计算机系统进行综合管理与控制的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System)。CIMS是从生产决策、产品设计与制造、管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System),以实现工厂自动化。

我国数控机床的研制始于1958年,到60年代末70年代初,已有一些晶体管式的数控系统研制成功,并用于数控铣床、数控外圆齿轮插齿机等,但数控机床的品种及数量都很少,数控系统稳定性和可靠性也不过关。80年代,我国先后从日本、美国等发达国家引进一些数控系统和伺服技术,陆续开发和生产了一批具有70年代末80年代初期水平的数控系统,这些系统可靠性好,功能齐全,推动了我国数控机床的稳定发展。到1985年,我国数控机床品种已达80多种,包括加工中心、数控车床、铣床、磨床等,数控机床进入实用阶段。

近十年是我国数控机床大发展的时期。这期间,国家组织安排了“数控机床引进技术消化吸收(数控机床一条龙)”、“计算机集成制造系统(CIMS工程)的研究”等重点科技攻关项目。有的还被列入国家“863”高科技研究项目,并取得了重大进展。如由华中理工大学研制的华中I型数控系统被国家科委列入“1997年度国家新产品计划”和“九五国家科技成果重点推广计划指南项目”,并获得国家教委科技进步一等奖。目前我国已有几十个厂家在从事不同层次的数控机床生产与开发,数控机床的品种已超过500种,1999年9月,江苏常州机床厂成功研制出了五轴联动龙门加工中心,标志着我国数控机床设计及制造技术已达国际水平。

第二节 数控机床的构成及工作原理

一、数控机床的构成

数控机床是通过数字化的操作指令进行控制的一种机床,它主要由输入输出设备、计算机数控装置、伺服系统和机床本体等四部分组成,如图1-1所示。

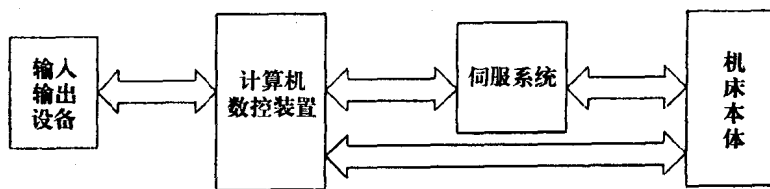


图 1-1 数控机床基本结构框图

1. 输入输出设备

输入输出设备主要实现编制程序、输入程序、输入数据以及显示、存储和打印等功能。常用的输入输出设备有:键盘、纸带阅读机、磁带或磁盘输入机、CRT显示器等,高级的数控机床还配有一套自动编程机或CAD/CAM系统。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的“大脑”和“核心”，通常由一台通用或专用计算机构成。它的功能是接受输入装置输入的加工信息，经过数控装置中的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，发出相应的各种信号和指令给伺服系统，通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。

3. 伺服系统

伺服系统接收来自数控装置的指令信息，严格按指令信息的要求驱动机床的运动部件动作，以加工出符合图纸要求的零件。伺服系统的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机、机械传动机构和执行机构。常用的伺服电机是步进电机、直流和交流伺服电机。伺服系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服系统中，还需配有位置检测装置，直接或间接测量执行部件的实际位移量，并与指令位移量进行比较，按闭环原理，用其差值来控制执行部件的进给运动。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，包括：床身、立柱等支承部件；主轴等主运动部件；工作台、刀架以及进给运动执行部件、传动部件。此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置，对加工中心类数控机床，还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。与传统机床相比，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结构以及操作机构等方面都发生了很大的变化，这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和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。

二、数控机床的工作原理

数控机床加工零件通常经过以下几个步骤，如图 1-2 所示：

1. 编写程序单

根据加工零件的图纸和加工工艺，用规定的代码和程序格式编写加工程序单。对于较简单的零件，通常采用手工编程；对形状较复杂的零件，则要在编程机上进行或用计算机编程。

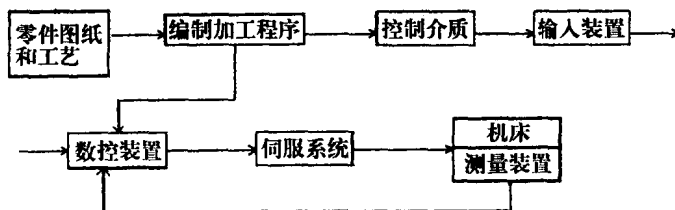


图 1-2 数控机床的工作过程

2. 制备控制介质

把程序单上表达的加工零件所需的机床运动和各种操作以及全部工艺参数变成机床数控装置能接受的信息代码，并将这些代码信息存储在特殊的信息载体上，这个过程叫制备控制介质。控制介质就是能存储加工信息的特殊信息载体，例如穿孔纸带、穿孔卡、磁盘和磁带等。

3. 程序输入

根据控制介质的不同选择不同的输入装置，由输入装置读出加工程序并送入数控装置。如控制介质为穿孔纸带，输入装置可用光电阅读机；控制介质为磁盘和磁带时，输入装置可分别采用磁盘驱动器和磁带录音机。零件加工程序较短时，也可不用控制介质，而采用 MDI（手动数据输入）方式，用键盘将程序直接输入。对于具有标准通信接口（如 RS-232C）的数控机床，还可把在计算机或编程机里编好的加工程序通过接口直接传送到数控装置。

4. 控制处理

加工程序输入到数控装置后,在数控装置内部硬件和软件的支持下进行一系列的处理与计算(译码、轨迹插补运算、刀具补偿等)。同时,将结果以脉冲信号的形式输出,一部分脉冲信号送到机床的伺服系统,经转换和放大后驱动执行机构运动;另一部分脉冲信号送到机床的可编程控制器 PLC 中,用以顺序控制机床的其它辅助操作,如变速、开关冷却液、自动换刀等。

5. 伺服控制与机床加工

伺服控制的作用是把来自数控装置插补输出的脉冲信号经过功率放大、通过驱动元件(步进电机、伺服电机等)和机械传动机构,使机床执行机构(工作台、主轴等)带动刀具和工件按规定的轨迹和速度相对运动,从而加工出符合图纸要求的零件来。

第三节 数控机床的分类

数控机床自诞生以来,几经演变,从低级的硬布线数控机床到目前应用广泛的微机数控机床,品种繁多,规格更是五花八门,分类方法也多种多样,但就其结构形式、工作方式和实现的功能而言,大致可以按下列方式分类:

一、按控制运动轨迹分类:

1. 点位控制数控机床

这类数控机床只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位,即只保证行程终点的坐标值。而对点到点之间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以沿多个坐标同时移动,也可以沿各个坐标先后移动。在移动过程中,刀具也不进行切削加工。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控测量机等。用于加工带有坐标孔系的零件或测量坐标位置。为提高生产效率和保证定位精度,机床工作时一般先快速运动,当接近终点位置时,再减速缓慢趋近终点,从而减少运动部件因惯性过冲所引起的定位误差。

2. 直线控制数控机床

这类数控机床不仅要控制点到点的准确定位,而且要控制两点之间移动的轨迹是一条直线,且在运动过程中,刀具按规定的进给速度进行切削。采用这类控制的机床有简易数控车床、数控镗铣床和数控磨床等。

3. 轮廓控制数控机床

这类机床又叫连续控制或多坐标联动数控机床。它能够对两个或两个以上的运动坐标轴的位移及速度进行连续相关的控制,使刀具和工件按规定的平面或空间轮廓轨迹进行相对运动,从而加工出合格的产品。这类机床的数控装置一般要求有直线和圆弧插补功能,有较高速度的数字运算和信息处理功能,以便加工出形状复杂的零件。目前,大多数数控机床,如数控车床、铣床、磨床、加工中心机床以及其它数控设备(如数控绘图机、测量机等)均具有轮廓控制功能。

二、按伺服系统控制方式分类

1. 开环控制数控机床

如图 1-3 所示,开环控制数控机床没有位置检测元件,伺服用驱动元件通常有功率步

进电机或混合式伺服步进电机。数控系统每发出一个指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动电机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类机床控制的信息流是单向的,脉冲信号发出后,实际位移值不再返回来,所以称开环控制,其精度主要取决于驱动元器件和步进电机的性能。



图 1-3 开环控制系统框图

开环控制的优点是结构简单、调试和维修方便,成本较低,缺点是精度较低,进给速度也受步进电机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床,以及普通机床的数控化改造。近年来,随着高精度步进电机特别是混合式步进电机的应用,以及恒流斩波、PWM 等技术及微步驱动、超微步驱动技术的发展,步进伺服的高频出力与低频振荡得到极大的改善,开环控制数控机床的精度和性能也大为提高。

2. 闭环控制数控机床

如图 1-4 所示,这类机床带有直线位置检测装置,可直接对工作台的实际位移量进行检测。加工过程中,将速度反馈信号送到速度控制电路,将工作台实际位移量反馈回位置比较电路,与数控装置发出的位移指令值进行比较,用比较后的误差信号作为控制量去控制工作台的运动,直到误差为零为止。常用的伺服驱动元件为直流或交流伺服电动机。

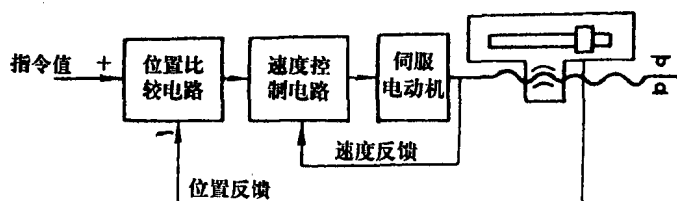


图 1-4 闭环控制系统框图

这种机床因为把工作台纳入了控制环,故称闭环控制。闭环控制可以消除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高、调节速度快。但由于机床工作台惯量大,对系统的稳定性会带来不利影响,使调试、维修困难,且控制系统复杂成本高,故一般对要求很高的数控机床才采用这种控制方式,如数控精密镗铣床等。

3. 半闭环控制数控机床

如图 1-5 所示,这类机床与闭环控制机床的区别在于检测反馈信号不是来自安装在工作台上的直线位移测量元件,而是来自安装在电机轴或丝杆轴上的角位移测量元件。通过测量电机转角或丝杆转角推算出工作台的位移量,并将此值与指令值进行比较,用差值来进行控制。从图 1-5 中可以看出,由于工作台未包括在控制回路中,因而称半闭环控制。这种控制方式由于排除了惯量很大的机床工作台部分,使整个系统的稳定性得以保证。目前已普遍将角位移检测元件与伺服电机做成一个部件,使系统结构简单、调试和维护也易于掌握。

半闭环控制数控机床的性能介于开环和闭环控制数控机床之间。精度比开环高比闭环

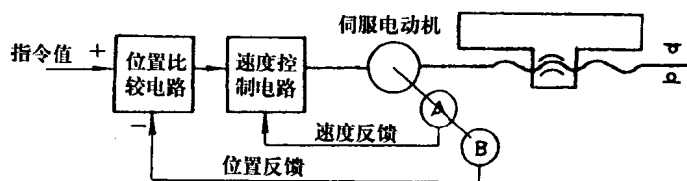


图 1-5 半闭环控制系统框图

低。但调试却比闭环方便,因而得到广泛的应用。

三、按同时控制的坐标轴数分类

根据控制系统所能同时控制的坐标轴数目,数控机床可分为:两坐标数控机床;三坐标数控机床; $2\frac{1}{2}$ 坐标数控机床,以及多坐标数控机床。按这种分类法划分的机床,一般属于轮廓控制类型的数控机床。

图 1-6 表示的 $2\frac{1}{2}$ 联动所对应的机床有三个坐标,但加工时只能实现其中任意两个坐标联动,第三个坐标仅作周期性等距离进给的调整运动。

具有三坐标以上联动能力的机床称为多坐标数控机床。它们用来加工形状复杂的零件,如螺旋桨、叶轮、复杂模具等。图 1-7 所示为一台五坐标数控机床的示意图。与三坐标数控机床相比,它多了一个可作圆周进给运动的数控回转工作台和一个数控主轴摆头,从而使机床除了可沿 X、Y、Z 三个坐标作直线移动外,还可绕 Z、Y 轴转动(分别为 C 运动和 B 运动)。主轴摆头的作用是,使刀具在加工过程中摆动一定角度,避免刀具与工件产生干涉,或者使刀具轴线处于合适的位置,以改善切削条件,提高生产率,保证被加工零件的加工质量。

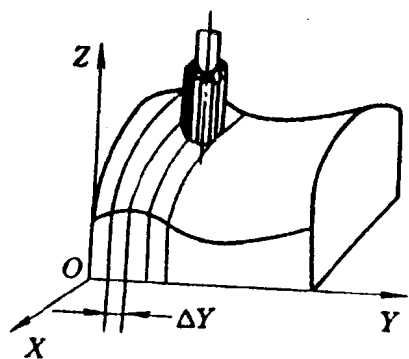


图 1-6 $2\frac{1}{2}$ 联动的数控机床加工情况

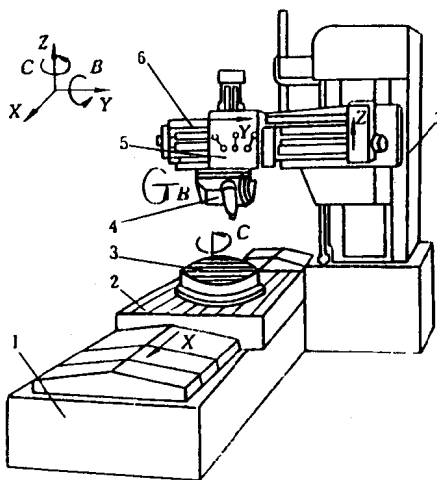


图 1-7 五坐标数控机床

1—床身; 2—纵向工作台; 3—回转工作台; 4—主轴摆头; 6—横梁; 7—立柱。