



全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

数控技术

董长双 胡世军 李文斌 ▶ 主编



SHUKONG JISHU

JX

QUAN GUO TONG YUANG GAO DENG XUE XIAO JI XIE LEI SHI YU WU SHI YE JI CHU JIAO CAI



JIXIELEI * SHIYEWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列

数控技术

主 编 董长双 胡世军 李文斌
副主编 聂学军 薛东彬 陈学永 戴丽玲

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

根据现代数控机床的发展,本书主要介绍了数字控制的基本原理,数控机床的组成、分类及发展水平,零件加工数控程序的编制;运动轨迹的插补原理、刀补原理、运动误差补偿原理;位置检测原理;现代数控系统;伺服驱动系统及现代数控机床的结构设计等。

本书可以作为普通高等学校机械类专业的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/董长双 胡世军 李文斌 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-5609-8934-1

I. 数… II. ①董… ②胡… ③李… III. 数控技术-高等学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 102771 号

数控技术

董长双 胡世军 李文斌 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:姚 幸

封面设计:范翠璇

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:17.5

字 数:454千字

版 次:2013年8月第1版第1次印刷

定 价:35.00元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰 杨 萍 杨家军

吴 波 何岭松 陈 炜 竺志超 高中庸 谢 军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤华 贾卫平

丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五 聂秋根

赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明

孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：

俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高[2011]1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高[2011]6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高[2012]4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委

会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教指委颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



前 言

在当前,数控技术是指使用计算机对整个机械加工过程进行信息处理与控制,达到生产过程自动化的一门技术。数控技术是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的技术基础,是先进制造技术的重要组成部分。自1952年世界上产生第一台数控机床以来,数控技术得到了飞速发展,使机床产生了革命性的变化。应用数控技术,推广普及数控机床的应用,是当今机械制造技术改造、技术更新的必由之路。

数控技术是集机械制造技术、信息处理技术、加工技术、传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术、微电子技术、软件技术等多学科于一体的一门技术,数控机床是典型的机电一体化的产品。本书从原理和使用的角度出发,较详细地讲述了数控机床的组成、分类,数控技术的产生和发展水平;零件加工数控程序的编制;运动轨迹的插补原理、刀补原理、运动误差补偿原理;位置检测原理;现代数控系统;伺服驱动系统及现代数控机床的结构设计。本书作为高等院校机械类专业教材,力求反映国内外最新数控技术现状,使其具有先进性、实用性。

参加本书编写的有:太原理工大学李文斌(第1章)、董长双(第2章),北京工商大学聂学军(第3章),昆明学院戴丽玲(第4章),河南工业大学薛东彬(第5章),福建农林大学陈学永(第6章),兰州理工大学胡世军(第7章)。全书由董长双统稿。

本书在编写过程中参阅了国内外有关数控技术方面的教材、资料和文献,在此向各位作者致以诚挚的谢意,同时也谨向为本书编写付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏、不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年12月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 数控机床的基本组成及加工原理	(1)
1.2 机床数控系统的分类及性能指标	(4)
1.3 数字控制的特点和应用.....	(11)
1.4 机床数控技术的现状及发展.....	(16)
思考题与习题	(21)
第 2 章 数控机床加工程序的编制	(22)
2.1 数控机床加工程序编制的方法和步骤.....	(22)
2.2 数控机床加工程序编制的基础知识.....	(24)
2.3 数控编程的基本指令.....	(29)
2.4 数控车床加工编程.....	(41)
2.5 数控铣床、加工中心加工编程	(58)
思考题与习题	(77)
第 3 章 运动轨迹的插补原理、刀补原理、运动误差补偿原理	(80)
3.1 概述.....	(80)
3.2 基准脉冲插补.....	(82)
3.3 数据采样插补	(100)
3.4 刀具半径补偿	(113)
3.5 进给运动误差补偿	(126)
思考题与习题.....	(134)
第 4 章 数控机床检测装置	(136)
4.1 概述	(136)
4.2 旋转变压器	(140)
4.3 感应同步器	(144)
4.4 光栅	(148)
4.5 磁栅	(153)
4.6 编码器	(158)
思考题与习题.....	(164)
第 5 章 计算机数控系统	(165)
5.1 概述	(165)
5.2 CNC 系统的硬件结构及特点	(167)
5.3 可编程控制器及数控机床接口	(170)
5.4 CNC 装置的软件结构及特点	(179)
5.5 输入数据处理	(183)
5.6 管理程序	(192)

5.7 进给速度控制	(200)
5.8 诊断程序	(207)
思考题与习题	(209)
第6章 数控机床伺服驱动系统	(211)
6.1 概述	(211)
6.2 开环进给伺服驱动系统	(215)
6.3 直流进给伺服驱动系统	(225)
6.4 交流进给伺服驱动系统	(228)
6.5 进给运动闭环位置控制	(232)
6.6 闭环位置控制系统的性能分析	(240)
6.7 进给传动机构对位置控制特性的影响	(242)
思考题与习题	(244)
第7章 数控机床的机械结构	(245)
7.1 数控机床的结构要求	(245)
7.2 数控机床的主传动系统	(247)
7.3 数控机床的进给系统	(251)
7.4 数控机床的床身与导轨	(256)
7.5 数控机床的自动换刀系统	(259)
7.6 数控机床的回转工作台	(263)
7.7 数控机床的辅助装置	(267)
思考题与习题	(268)
参考文献	(269)

第 1 章 绪 论

1.1 数控机床的基本组成及加工原理

1.1.1 数控机床的基本概念

随着机械制造自动化技术的发展,机床的运动控制发生了根本性的变化。金属切削机床依靠其各个部件的相对运动来实现对各种零件的加工。普通机床通常有手动和机动两种控制方式:手动是指机床操作者摇动手把,带动机床部件进行运动和停止;机动是指用按钮接通动力源(电动机)经机械传动系统使机床部件运动,运动的停止也是靠按钮或行程开关碰到挡铁后切断电路而实现。数字控制机床,即数控机床则是以数字指令方式控制机床各部件的相对运动和动作对零件进行加工。如 N003 G90 G01 X+200.0 00 Y-100.000 S1000 T01 F300 M07;就是一条数控机床执行的指令程序段,它实现了用机床的 1 号刀具加工一条 X、Y 平面上的直线段。它的具体含义为:序号为第 3 个程序段,用 1 号刀具加工一条平面直线段,采用绝对坐标编程(G90),起点为上一个程序段指令点,终点为程序段中给定的点(+200.000, -100.000)。程序段中还指明了机床主轴转速为 1 000 r/min,进给部件的运动速度为 300 mm/min,冷却液为打开状态。

由上述程序段可以看出,它由数字 0~9,英文字母 X, Y, Z, S, T, F, M, ..., 符号“+”“-”“.”“;”等组成。该程序段的各部分首先要输入到数控机床的控制系统(即专用计算机)中去并译码转换成二进制数,再经过计算机处理、伺服控制,从而驱动机床各部件运动,完成该直线段的加工。由于指令运动过程是以二进制数进行的,因此称这种控制为数字控制(numerical control, NC)。现代数字控制技术与机床控制密切结合而发展起来的,所以人们习惯上把“机床数控”简称为“数控”或“NC”,并且把采用这种控制技术控制的机床称为“数控机床”(numerically controlled machine Tool),或 NC 机床。数控装置和伺服控制部分统称为数控系统。机床的数字控制是近代发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信息实现对机床控制一种方法。

1.1.2 计算机数字控制的概念

随着电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也得到了长足的发展。其中,数控系统的硬件经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路等几个发展阶段。数字控制是用数字信号对机床的运动及加工过程进行控制的一种方法,称之为数控。数控系统中引入了计算机,所以又称之为计算机数字控制(computer numerical control, CNC)。数控系统中引入了微型计算机,使它在质的方面完成了一次飞跃。数控系统是一种控制系统,它通过自动阅读输入载体上的格式数字信息,进行译码、处理,驱动机床产生各种运动,并且反馈信息的变化,最后加工出合格的产品。CNC 系统与硬件 NC 相比具有如下优点。

(1) 柔性好 以往数控系统的许多功能是靠硬件电路来实现的,一经完成,功能是不能改

变的。但 CNC 系统能利用控制软件(程序)灵活地增加或改变数控系统的功能,更能适应生产的需要。

(2) 功能强 可利用计算机技术及其外围设备,增强数控系统及数控机床的功能。如利用计算机图形显示功能来检查编程的刀具轨迹,纠正编程错误,还可以检查刀具与机床、夹具碰撞的可能性等;利用计算机网络通信的功能,便于数控机床组成生产线;同时,数控系统通过因特网与服务中心连接起来,就可以进行故障诊断及维修指导服务。

(3) 可靠性高 计算机数控系统可以使用磁带、软盘和硬盘等多种输入介质,克服了数控机床由于频繁开启光电阅读机而造成的信息出错的缺点。与硬件数控系统相比,计算机数控系统硬件电路少,显著地减少了焊点、接插件和外部连线,提高了系统可靠性。此外,计算机数控系统一般都具备自诊断功能,可及时指出故障原因,便于维修或预防操作失误,减少停机时间。这一切使得现代数控系统的无故障运行时间大大增加。

(4) 易于实现机电一体化 由于计算机电路板上采用了大规模集成电路和先进的印刷电路排版技术,只要采用数块印刷电路板即可构成整个控制系统,而将数控装置连同操作面板装入一个不大的数控箱内,易于实现机电一体化。

(5) 经济性好 采用计算机数控系统后,使系统的性能价格比大为提高。现在不但在大型企业,就是中小型企业也逐渐采用了计算机数控系统。

1.1.3 数控机床的基本组成及工作过程

虽然数控技术能用来控制多种机械设备,但用得最多的是数控机床。下面介绍数控机床的基本组成部分及工作过程。

1. 数控机床的组成

数控机床是指一种利用数控技术,按照编好的程序实现规定动作的金属切削机床,它由程序载体、输入装置、数控装置、伺服系统、位置反馈系统和机床本体等组成(见图 1.1)。

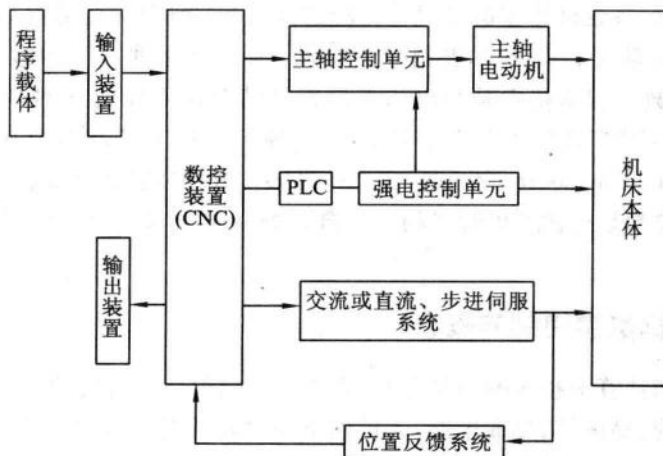


图 1.1 数控机床的组成

1) 程序载体

数控机床是按照输入的零件加工程序运行的。零件加工程序包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给速度、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码记录在一种载体上,这个载体即为程序载体,如早期的 NC 系统采用穿孔纸带、盒式磁

带,而现代 CNC 系统多采用硬盘、光盘和 U 盘等。

2) 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内的信息读入数控装置。根据程序载体的不同,对应有不同的输入装置。如:对于穿孔纸带,配用光电阅读机;对于盒式磁带,配用录放机;对于硬盘,配用硬盘驱动器和驱动卡。有时为了用户方便,数控机床可以同时具备两种输入装置。

现代数控机床还可以通过手动数据输入方式(menu data input,MDI),将零件加工程序直接用数控系统的操作面板上的按键输入到数控装置;或者用与计算机通信方式直接将零件加工程序输入到数控装置。

3) 数控装置

数控装置由信息的输入、处理和输出三个部分组成。程序载体通过输入装置将信息传给数控装置,数控装置将零件加工程序编译成计算机能够识别的信息(二进制代码),由信息处理部分按照控制程序的规定计算后,通过输出单元将位置和速度指令发送到进给伺服系统和主轴控制单元。

数控机床的辅助动作,如刀具的选择与更换、切削液启/停等能够用可编程序控制器(programmable logic controller,PLC)控制,这是数控系统对机床的顺序动作的控制。在现代数控系统中,一般具有 PLC 附加电路板。这种结构形式可省去 CNC 与 PLC 之间的连线,结构紧凑,可靠性好,操作方便,无论从技术上或经济上都是有利的。

4) 伺服系统

伺服系统由伺服电动机及控制装置和伺服控制软件组成。它有进给伺服系统和主轴伺服系统之分。进给伺服系统根据数控装置送来的速度及位置指令驱动机床的进给运动部件,完成指令规定的运动。每一坐标方向的运动部分配备一套伺服系统。伺服电动机的驱动控制装置一般仅完成电动机的速度控制(包括速度反馈),电动机的角位移控制一般由数控装置完成。主轴伺服系统只需调速和定向控制。

5) 位置反馈系统

位置反馈分为伺服电动机的角位移的反馈和数控机床执行机构(工作台)的位移反馈两种,运动部分通过传感器将上述角位移或直线位移转换成电信号,输送给数控装置,与指令位置进行比较,并由数控装置发出指令,纠正所产生的误差,从而完成反馈系统的功能。

6) 机床本体

数控机床的本体除了主运动系统、进给系统的机械部分,以及辅助部分,如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外,还有些特殊部件,如储备刀具的刀库、自动换刀装置(automatic tool changer,ATC)、自动托盘交换装置等。与普通机床相比,数控机床的传动系统更为简单,但机床的静态和动态刚度要求更高,传动装置的间隙要尽可能小,相对滑动面的摩擦因数小,并且要有恰当的阻尼,以适应数控机床对高定位精度和良好的控制性能的要求。

2. 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程包括以下内容。

(1) 根据零件的加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位置数据。

(2) 用规定的程序代码和格式将工件的形状尺寸及加工过程所需的各种动作(如主轴变速、刀具选择、冷却液供给、进给、启/停等)用程序表示,写成加工程序清单。或用自动编程软件进行计算机辅助编程,生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。通常,用手工编写的程序可以通过数控机床的操作面板输入,用

自动编程软件(如 MasterCAM)生成的程序,可通过计算机的串行接口直接传输到数控装置。

(4) 将传输到数控装置的加工程序进行调试和试运行、刀具路径模拟等,以检验程序的正确与否。

(5) 通过对机床的正确操作,运行程序,按照零件加工程序的要求控制机床伺服驱动系统,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工。当被加工工件改变时,除了重新装夹工件和更换刀具外,还要更换程序。

1.2 机床数控系统的分类及性能指标

数控系统是一种能够控制机器运动的装置。它由输入装置、数控装置和输出部分组成。输入装置将按规定格式编写的控制信息输入数控装置,数控装置能够自动解释其中的指令,进行运算,并由输出部分向所控制的执行机构发出指令,最终实现所要求的动作功能。具有反馈装置的数控装置还能监视执行机构的执行结果,并纠正其误差。

机床按照不同用途的需要,其数控系统就有不同的类型。根据控制运动方式的不同,数控系统可分为点位、点位/直线和连续(轮廓)控制系统。根据伺服系统反馈信息的不同,数控系统可分为开环、闭环和半闭环控制系统。根据功能的多少及复杂程度,数控系统又可分为多功能数控系统和经济型数控系统。随着数控系统应用的发展,又出现了较为先进的适应控制系统、直接数控系统等。

1.2.1 按控制运动轨迹分类

1. 点位控制系统

点位控制系统仅控制刀具相对于工件的位置,由一个定位点向下一个定位点移动,但移动的途径原则上没有规定,为了简化机床运动,一般沿机床坐标轴运动,在刀具或工件移动过程中不进行切削。具有这种系统的机床最重要的是要保证点的相对位置,所以移动时要快速,接近定位点时要逐渐减速,以保证定位精度。

定位可用两种方式来完成,一种是增量坐标方式,它是以前一位置作为参考坐标点来决定后一位置的;另一种是绝对坐标方式,这种方式有一个固定的参考坐标,它的原点是固定的,工件上所有位置都以此坐标系的坐标值来表示。

点位控制系统多用于孔加工的数控机床,如 NC 钻床(见图 1.2)、NC 冲床。有些机床,如 NC 镗床、NC 车床(见图 1.3),要求刀具沿坐标轴移动时还能进行切削,所以开发了点位/直线控制系统。这种系统除了高精度的定位功能外,在刀具沿坐标轴移动时,还能根据切削用量控制位移的速度,由于点位和点位/直线控制系统相差无几,可以将它归入点位控制系统。

2. 连续控制系统

连续控制系统又称为轮廓控制系统,与点位控制系统的最大区别在于:连续控制系统可以控制两个或两个以上坐标轴的位移,并形成确定的函数关系,走出规定的刀具与工件的相对运动轨迹,以加工出所需工件的轮廓(见图 1.4)。这是由连续控制系统中的插补功能来实现的。

1) 插补运算原理

假设刀具与工件的相对运动轨迹为一段直线或圆弧。数控系统不能将坐标轴无限细分,而只能按最小设定单位(或称为脉冲当量)移动,加工后工件的圆弧或直线实际上是由许多折线构成的。所以,数控系统按照一定的计算方法,将脉冲当量分配给各坐标轴,形成规定的上

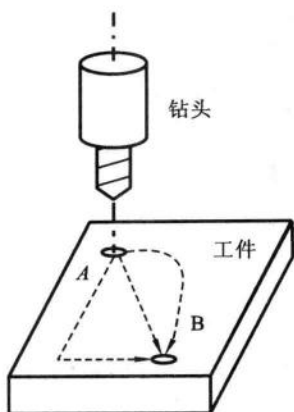


图 1.2 点位控制钻孔加工

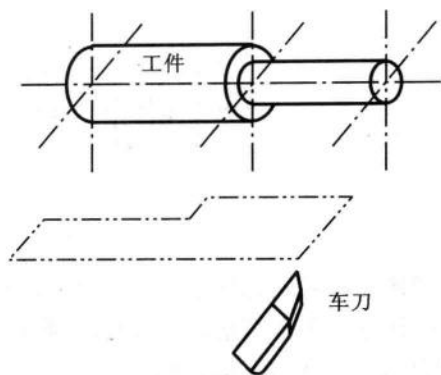


图 1.3 点位直线控制车外圆加工

述轨迹的过程称为插补。

如上所述,用折线代替规定曲线会带来一定误差,此误差应在容许范围内,否则只能选更小的设定单位。图 1.5(a)所示为直线插补;图 1.5(b)所示为圆弧插补。虽然工件轮廓有各种不同形状,但都可用直线和圆弧逼近它,所以一般机床数控系统都具有直线和圆弧插补功能。有些先进数控系统同时还具有抛物线、螺旋线和渐开线等插补功能。

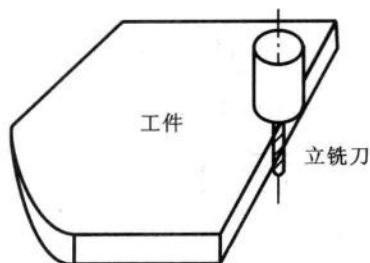
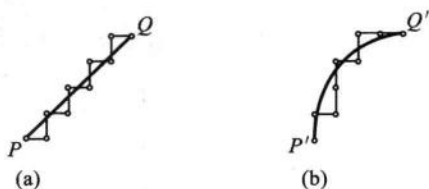


图 1.4 连续控制加工

图 1.5 直线与圆弧插补
(a)直线插补 (b)圆弧插补

2) 连续控制系统的工作特点

连续控制系统的插补是由插补器来实现的。所谓插补器是指完成插补功能的一种硬件装置或软件程序。插补器根据输入的插补指令进行数字计算,对各坐标轴进行脉冲分配,然后发出指令给伺服驱动装置,使机床工作台沿各坐标轴完成规定的运动,刀具就能加工出工件廓形来。连续控制系统必须精确地控制两个或两个以上坐标轴的运动,而最小设定有时甚至小于 $1\ \mu\text{m}$ 。所以连续控制系统处理数据的速度要比点位系统高出上千倍,现有的机床数控系统都具有连续控制系统的功能,也即多轴联动功能。

1.2.2 按伺服系统控制方式分类

1. 开环控制系统

图 1.6 所示为开环控制系统的方框图。输入装置将控制信息传送到数控装置后,控制信息被编译成计算机能识别的机器码,经过运算后,在规定的时间内发出指令脉冲到伺服驱动装置,使伺服电动机转动规定的角度,驱动机床工作台运动。如为多轴控制,运算器还须进行脉冲分配,使各伺服电动机协调转动,机床工作台就按指令完成规定的合成运动。

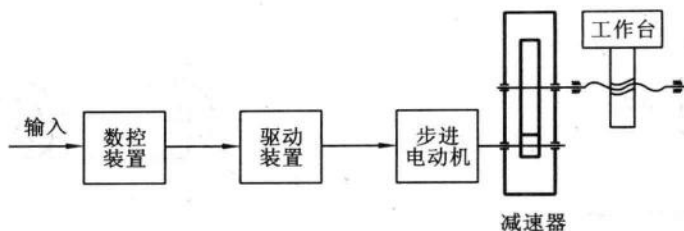


图 1.6 开环控制系统框图

开环控制系统的伺服电动机多采用功率步进电动机,在输入一个电脉冲后,步进电动机就相应地转过一个步距角,通过机床的传动部件,使工作台相应地移到一个位移量(脉冲当量),一般为 $0.01 \sim 0.001 \text{ mm/P}$ 。

由于开环控制系统没有反馈装置,所以不能避免步进电动机因丢步而产生位移误差,同时制造较大功率的步进电动机还有困难,因此开环控制系统仅用于运动速度较低、加工精度不太高的机床。

2. 闭环控制系统

针对开环控制系统的缺点,闭环控制系统在工作台运动方向增加了测量工作台实际位移的位置传感器,如图 1.7 所示。传感器将实际位置信息反馈给数控装置的比较器,与理论位移比较,以纠正误差。

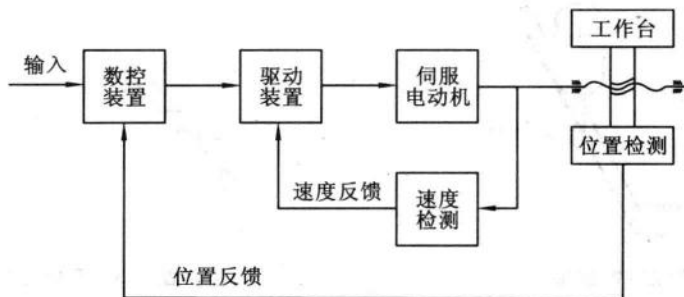


图 1.7 闭环控制系统框图

由此可见,采用闭环控制系统的数控机床的位置精度大为提高。闭环控制系统与开环控制系统的主要区别在于:闭环控制系统的伺服系统的机械执行机构的最后环节上装有反馈元件,将机床工作台的实际位置反馈给数控装置,从而控制机床的进给运动。

为了维护方便起见,闭环控制系统的伺服电动机最好采用交流伺服电动机。事实上,现代交流伺服系统已逐渐替代直流伺服系统。

3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统的控制方式与闭环控制系统类似,它们之间的主要区别在于前者在电动机轴上或机床丝杠轴上装有检测其角位移的传感器,如图 1.8 所示。这种系统可以精确控制电动机的角位移,但它不能纠正机床传动部件带来的误差,所以称为半闭环系统。

由于这种控制系统结构简单,控制、维护较方便,又能达到较高的位置精度,因此在数控机床得到广泛应用。

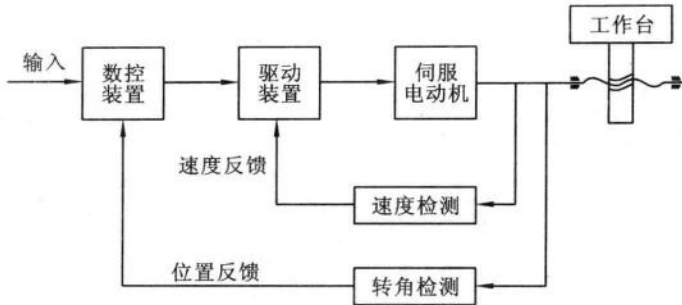


图 1.8 半闭环控制系统框图

1.2.3 多功能与经济型数控系统

多功能机床数控系统的功能比较齐全,适用于功率较大、动作较多、运动复杂、定位精度较高的大、中型数控机床。这种数控系统虽然功能丰富,但配置这种系统的数控机床价格昂贵,我国一般中、小企业购置困难。有些机床厂家生产的简易数控机床很受用户欢迎。这些数控机床是在通用机床的基础上,对机械部分做必要的改进,配上经济型数控系统,使其具备必要的数控功能。

配置经济型数控系统的数控机床,一般采用控制简单、成本较低的功率步进电动机伺服系统。为了提高加工精度,防止步进电动机丢步,较高档的经济型数控机床在滚珠丝杠端部装有回转编码器,或者在机床工作台上装有直线编码器进行反馈补偿,数控装置的处理单元一般采用 8051 系列单片机。

1.2.4 适应控制系统

闭环控制系统主要监控机床和刀具的相对位置或移动轨迹的精度。机床根据事先编好的加工程序运动,但在编程时无法考虑在实际加工时出现的一些其他因素,如工件加工余量的一致、工件材质不均匀、刀具的磨损情况和切削力的变化等对加工过程的影响,因此,加工过程不是处于最佳状态。为了提高切削效率和加工精度,机床的数控系统最好能在加工条件改变时改变机床切削量,以适应实时发生的加工情况,这种控制方法称为适应控制(adaptive control, AC)。应用 AC 控制原理的数控系统即为适应控制系统。

图 1.9 所示为适应控制框图。适应控制与闭环控制的主要区别在于有一适应控制器,它的作用是:通过装在机床上各个部位的传感器,将检测到的加工参数(如切削负载、刀具磨损量等)变化信息,送给适应控制器,与预先存储的有关信息进行分析比较,然后发出校正指令给数控装置,自动调整机床的有关参数。这样,机床就具备了“适应”加工过程的能力,成为适应控制机床。

适应控制机床的优点如下。

(1) 提高切削效率 适应控制能在满足加工质量的前提下,充分利用机床和刀具的切削能力,在加工过程中修正机床的进给量和切削速度,提高单位时间内切除金属的体积量。

(2) 提高加工质量 主要体现在提高加工工件的尺寸精度、形状和位置精度及表面质量方面。在切削加工中可对刀具磨损、机床-刀具-工件系统的刚度和热变形进行监测,及时修正指令,以减少误差,提高加工质量。

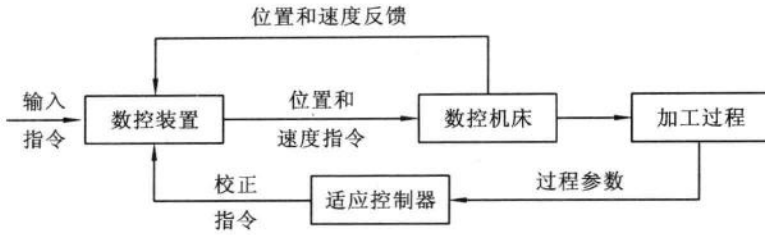


图 1.9 适应控制框图

(3) 降低成本 要降低成本,必须缩短单件加工时间和提高刀具寿命。但是,要减少单件加工时间,必须提高切削用量,从而又降低了刀具寿命。适应控制器能够计算出最佳工艺参数以控制机床,使单件加工成本最低。

(4) 防止切削过载 适应控制系统在加工中通过各种检测装置,监视诸如切削扭矩、切削力、振动参数,使它们保持在容许范围内,防止机床、刀具和工件由于过载而破坏。

(5) 简化编程 适应控制系统可根据实际的加工情况决定切削用量。此外,它还可自动决定快速和工作行程,减少空行程,决定最佳走刀次数等,使编程工作大为简化。

适应控制的分类方法很多,但总的来说可以分为几何适应控制和工艺适应控制两大类。几何适应控制的目的在于保证达到预定的加工精度和表面质量。用监控机床几何参数的办法,自动校正机床或刀具造成的位置误差,以提高加工精度。这种控制主要用于测量机的测量控制系统或精密加工中。工艺适应控制的目的是提高生产率或充分发挥机床的性能,常用于粗加工或半精加工。

图 1.10 所示为铣床的适应控制系统框图。为了充分利用机床的功率,或者使机床的负载恒定而进行适应控制机床时,可利用传感器检测主轴电动机的电流、扭矩或主轴的轴向推力等作为过程参数,将信号输入适应控制器,经处理后,适应控制器发出指令,改变机床的切削用量,以达到负载恒定的目的。

在铣床上铣削工件时,往往会产生机床的自激振动(颤振)。使用检测振动的传感器,通过专门的颤振探测装置将信号输入适应控制器,当颤振发生时,自动改变切削用量,可有效地控制颤振。

1.2.5 直接数控系统

直接数控(direct numerical control,DNC)系统是指用一台计算机直接控制一群机床,又称为群控系统。DNC 概念从“直接数控”到“分布式数控”,其本质也发生了变化。“分布式数控”表明可用一台计算机控制多台数控机床。这样,机械加工从单机自动化模式可扩展到柔性生产线(FML)及计算机集成制造系统(CIMS)。从通信而言,可以在数控系统增加 DNC 接口,形成制造通信网络。网络最大特点是资源共享,通过 DNC 功能形成网络可以实现:①对零件程序的上传或下传;②读/写数控装置的数据;③PLC 数据的传送;④存储器操作控制;⑤系统状态采集和远程控制等。更高档次的 DNC 还可以对 CAD/CAM/CAPP 及 CNC 的程序进行传送和分级管理。DNC 技术使数控装置与通信网络联系在一起,还可以传递维修数据,使用户与数控装置生产厂直接通信,进而把制造厂家联系在一起,构成虚拟制造网络。

根据机床群联系方式的不同,DNC 系统可分为以下三种类型。

(1) 间接型 DNC 系统 间接型 DNC 系统是指将已有的单台数控机床配上主计算机连接