

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材



顾问 杨叔子 李培根

机床数控技术

JICHUANG SHUKONG JISHU

闫占辉 刘宏伟 主编

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

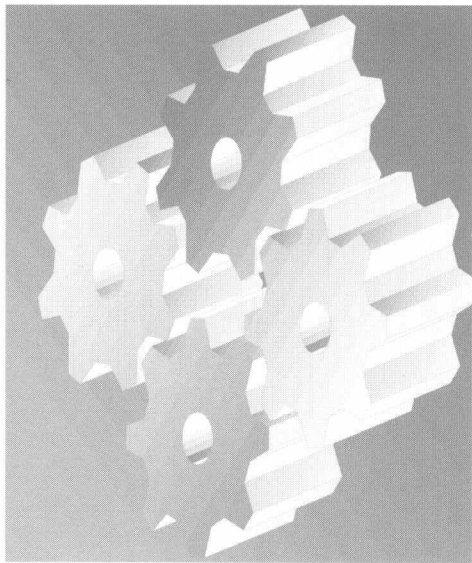




普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾 问 杨叔子 李培根

机床数控技术



主 编 闫占辉 刘宏伟
副主编 王庆成 贾敏忠
参 编 罗建国 余 勃 付莹莹

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/闫占辉 刘宏伟 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年8月

ISBN 978-7-5609-4516-3

I. 机… II. ①闫… ②刘… III. 数控机床-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086531 号

机床数控技术

闫占辉 刘宏伟 主编

策划编辑:刘 锦

责任编辑:刘 勤

责任校对:刘 竣

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

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)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:18.25 插页:2

字数:377 000

版次:2008年8月第1版

印次:2008年8月第1次印刷

定价:29.80元

ISBN 978-7-5609-4516-3/TG·82

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

普通高等院校“十一五”规划教材

普通高等院校机械类精品教材

编审委员会

顾问: 杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

总主编: 吴昌林 华中科技大学

委员: (按姓氏拼音顺序排列)

崔洪斌 河北科技大学

冯浩 景德镇陶瓷学院

高为国 湖南工程学院

郭钟宁 广东工业大学

韩建海 河南科技大学

孔建益 武汉科技大学

李光布 上海师范大学

李军 重庆交通大学

黎秋萍 华中科技大学出版社

刘成俊 重庆科技学院

柳舟通 黄石理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉科技学院

孟逵 河南工业大学

芮执元 兰州理工大学

汪建新 内蒙古科技大学

王生泽 东华大学

闫占辉 长春工程学院

杨振中 华北水利水电学院

尹明富 天津工业大学

张华 南昌大学

张建钢 武汉科技学院

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程科技学院

郑清春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技学院

内 容 简 介

本书主要介绍机床计算机数控的工作原理,数控机床的组成、分类及发展,CNC装置的硬件、软件及其接口,插补原理、刀具补偿与速度控制,加工程序编制,数控检测装置,伺服驱动系统及位置控制,数控机床的机械结构等。

本书取材新颖、内容丰富、系统、全面,根据数控系统内部信息流处理过程和能量流传递过程为主线展开阐述,由浅入深、循序渐进、理论与实际结合紧密,注重机电结合和系统理念,反映当今机床数控系统的新技术、新发展。

本书不仅可作为高等学校机械设计制造及其自动化和机械电子工程等专业的教材和参考书,还可作为各种层次的继续教育的培训教材,对相关工程技术人员也具有参考价值。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循、有规可依、有鉴可借、有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内容不在深浅，能切合学生培养目标，能抓住学生应掌握的要言，能做

到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设,特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

前 言

机床数控技术是自 20 世纪中期发展起来的机床自动控制技术。半个世纪以来,数控技术、数控机床获得了长足发展,技术不断更新,功能不断完善,智能化水平、可靠性不断提高,种类繁多、品种齐全。20 世纪 90 年代以来,随着计算机技术、微电子技术的发展,以 PC(personal computer)技术为基础的开放式 CNC 得到迅速发展,并正成为世界潮流。这是数控技术最具深远意义的一次飞跃。

集微电子技术、计算机技术、传感与检测技术、自动控制技术、机械制造技术等于一体的数控机床从根本上解决了制造业中柔性制造、自动化生产的一些实际问题。数控技术,数控机床的发展也极大地推动了计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和工厂自动化(FA)的发展。数控机床是典型的机电一体化产品,数控技术是先进制造技术的重要组成部分。应用数控技术,采用数控机床,提高机械工业的数控化率,是当今机械制造业技术改造、技术更新的必由之路。

本书在编写过程中融合了国内外最新数控技术及国内的实际应用技术,并兼顾理论与实际的联系,力求做到先进性、科学性和实用性。本书着重介绍了计算机数控装置及可编程序控制器、插补原理、插补算法、刀具补偿及速度控制、伺服驱动系统及位置控制,以及数控加工程序编制和数控机床的机械结构等。书中内容丰富、翔实,不仅适用于高等院校机械类专业的教学用书、各种层次的继续教育的培训教材,而且对相关技术人员也颇具参考价值。

参加本书编写的有长春工程学院闫占辉(第 1 章、第 2 章),南阳理工学院刘宏伟(第 3 章 3.1~3.6),吉林工程技术师范学院王庆成(第 5 章),福建工程学院贾敏忠(第 3 章 3.7~3.9),河北科技学院罗建国(第 4 章),宿迁学院余勃(第 6 章)和德州学院付莹莹。全书由闫占辉、付莹莹统稿。

在本书编写过程中,不仅得到了许多授课老师的关心、支持和帮助,而且参阅了国内外有关数控技术方面的教材、资料和文献,在此对各位作者谨致谢意。

数控技术发展日新月异,加之编者水平有限,书中难免存在错误、疏漏和不妥之处,恳请读者不吝指教。

编 者

2008 年 3 月 28 日

目 录

第 1 章 数控技术及数控机床	(1)
1.1 数控技术的基本概念	(1)
1.2 数控系统的工作过程	(3)
1.3 数控机床的分类方法	(7)
1.4 数控技术的产生与发展.....	(13)
思考题与习题	(18)
第 2 章 数控系统基本原理与结构	(19)
2.1 CNC 系统的组成	(19)
2.2 插补原理.....	(26)
2.3 计算机数控系统硬件结构.....	(42)
2.4 计算机数控系统软件结构.....	(54)
2.5 数控机床用可编程控制器.....	(64)
2.6 华中 I 型数控系统实例.....	(72)
思考题与习题	(78)
第 3 章 数控加工程序的编制	(79)
3.1 数控加工程序编制概述.....	(79)
3.2 数控编程基础.....	(81)
3.3 数控加工程序格式与标准数控代码.....	(86)
3.4 数控加工工艺分析.....	(98)
3.5 数控车床编程	(107)
3.6 数控铣床编程	(129)
3.7 加工中心编程	(148)
3.8 自动编程简介	(154)
3.9 程序编制中的数学处理	(158)
思考题与习题.....	(161)
第 4 章 数控检测装置	(164)
4.1 数控检测装置概述	(164)
4.2 旋转变压器	(165)
4.3 感应同步器	(168)

4.4	光栅	(171)
4.5	光电脉冲编码器	(174)
	思考题与习题	(178)
第5章	数控机床的伺服系统	(179)
5.1	数控机床伺服系统概述	(179)
5.2	伺服系统的驱动电动机	(182)
5.3	交流伺服电动机	(187)
5.4	步进电动机伺服系统进给运动的控制	(192)
5.5	伺服电动机的速度控制	(208)
5.6	位置控制	(216)
	思考题与习题	(228)
第6章	数控机床的机械结构	(229)
6.1	数控机床机械结构的特点	(229)
6.2	数控机床的主传动变速系统	(237)
6.3	数控机床的进给传动系统	(239)
6.4	数控机床的导轨	(257)
6.5	数控机床的自动换刀装置	(266)
6.6	数控机床的回转工作台	(277)
	思考题与习题	(283)
	参考文献	(284)

第 1 章 数控技术及数控机床

1.1 数控技术的基本概念

1.1.1 数控技术的基本概念

数控是数字控制(numerical control, NC)的简称。数控技术是用数字信息对轮廓加工过程的轨迹、速度和精度等进行控制的技术。数控系统(numerical control system)是用数控技术实现的自动控制系统,它是用数字代码形式的信息控制机床的运动速度和运动轨迹,以完成零件的加工。

根据不同的被控对象,有各种数控系统,其中最早产生的、目前应用最为广泛的是机械加工行业中的各种机床数控系统,即以加工机床为被控对象的数字控制系统,例如数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控加工中心等。

数控系统与被控机床本体的结合体称为数控机床。它综合运用了机械制造与微电子、计算机、现代控制理论、精密测量及光电磁等多种技术而发展起来的,使传统的机械加工工艺发生了质的变化,这个变化的本质就在于用数控系统实现了加工过程的自动化操作。它也是机器人、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等高技术的基础,是 21 世纪机械制造业进行技术更新与改造,以及向机电一体化方向发展的主要途径和重要手段。

图 1-1 所示为原机械工业部北京机床研究所生产的 JCS-018A 立式加工中心(带有自动换刀装置的数控机床)外观图,床身 1、立柱 5 为该机床的基础部件,交流变频调速电动机将运动经主轴箱 9 内的传动件传给主轴 10,以实现旋转主运动。三个宽调速直流伺服电动机分别经滚珠丝杠螺母副将运动传给工作台 3、滑座 2,实现 X、Y 坐标的进给运动,主轴箱 9 使其沿立柱导轨作 Z 坐标的进给运动。立柱左上侧的圆盘形刀库 7 可容纳 16 把刀,由机械手 8 进行自动换刀。立柱的左后部为数控柜 6,右侧为驱动电柜 11 和操作面板 12,左下侧为润滑油箱 4。

1.1.2 数控技术的相关术语

1) 计算机数控(computer numerical control, CNC)

专用的计算机控制程序可实现部分或全部基本控制功能,并通过接口与各种输入/输出设备建立联系。更换不同的控制程序,可以实现不同的控制功能。

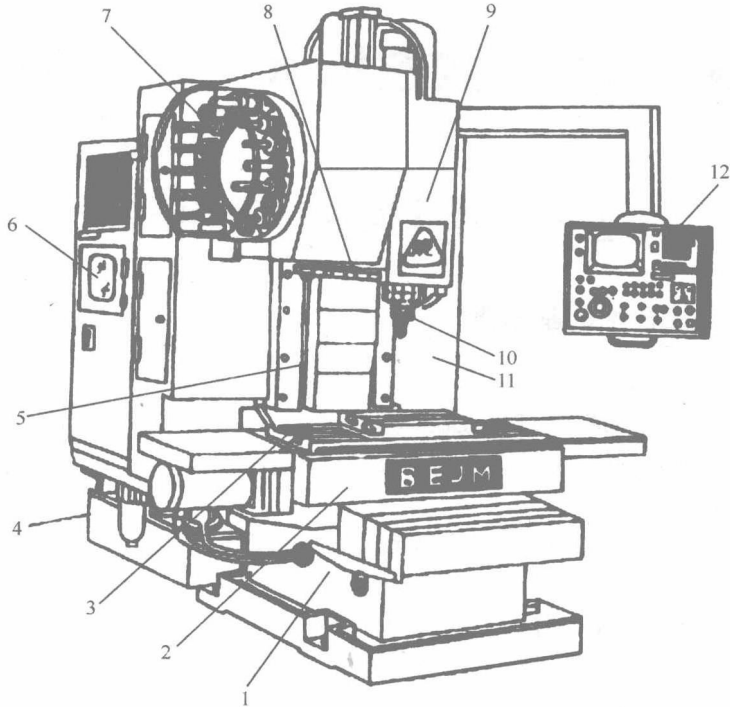


图 1-1 JCS-018A 立式加工中心外观图

2) 直接数字控制(群控)(direct numerical control, DNC)

这是一种数控系统,它把一群数控机床与存储有零件加工程序的公共存储器相连接,并按要求把数据分配给有关机床。

3) 闭环数控系统(closed loop numerical control system)

这种控制系统检测机床运动部件位置信号或与它等价的量,然后与数控装置输出的指令信号(输入数据或与它等价的物理量)进行比较,若出现差值时就驱动机床有关部件运动,直至差值为零时为止。

4) 开环数控系统(open loop numerical control system)

这是不把控制对象的输入与输出进行比较的数控系统,即没有位置传感器来反馈信号的一种数控系统。

5) 伺服系统(servo system)

这是一种自动控制系统,其中包括功率放大和使输出量值完全与输入量值相对应的反馈。

6) 自动换刀装置(automatic tool changer, ATC)

这是自动地更换加工中所用刀具的装置。刀库中存放刀具,根据指令选择刀具,并由

换刀机构自动地装在机床主轴上,用完后从主轴上自动取下存入刀库。

7) 代码(code)

代码是用字母、数字和符号等表示信息的符号体系。

8) 命令(command)

命令是指使运动或功能开始的操作指令。如:给机床直接输入的代码;由计算或比较功能产生的输出;由外部指令的相互逻辑作用产生的结果。

9) 指令脉冲(command pulse)

指令脉冲是指为使机床有关部分按指令动作,而从数控装置送给机床的脉冲。该脉冲与机床的单位移动量相对应。

10) 脉冲当量(least input increment)

脉冲当量又称为分辨率,由数控带或手动数据输入时能给出的最小位移。

11) ISO 代码(ISO code)

这是指国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)规定的由穿孔带传送信息时使用的代码,是以 ASCII 代码为基础的七位代码(另加一位校验用的补偶码)。

1.1.3 机床数控的原理

数控机床进行加工时,先将被加工零件图纸的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编成加工程序,然后将其输入数控装置,经过数控系统对输入信息的处理和分配,使各坐标移动若干个最小位移量,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工。

1.2 数控系统的工作过程

1.2.1 数控系统的基本组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、驱动控制装置、机床电器逻辑控制装置、测量反馈装置等几部分组成,机床本体为被控对象,如图 1-2 所示。

数控系统是严格按照外部输入的程序对工件进行自动加工的,通常将从外部输入的、描述机床加工过程的程序称为数控加工程序,它是用字母、数字和其他符号的编码指令规定的程序。数控加工程序按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息,包括零件加工的轨迹信息(反映零件几何形状和几何尺寸等)、工艺信息(反映切削参数的进给速度和主轴转速等)及其他辅助信息(主轴正/反转、换刀、冷却液开/关和工件装/卸等开关命令)。加工程序常常记录在各种信息载体上。信息载体又称为控制载体,其形式可以是穿孔纸带、磁带、磁盘、光盘等各种可以记载二进制信息的介质。通过各种输入装置,信息载体上的数控加工程序将被数控装置所接收。

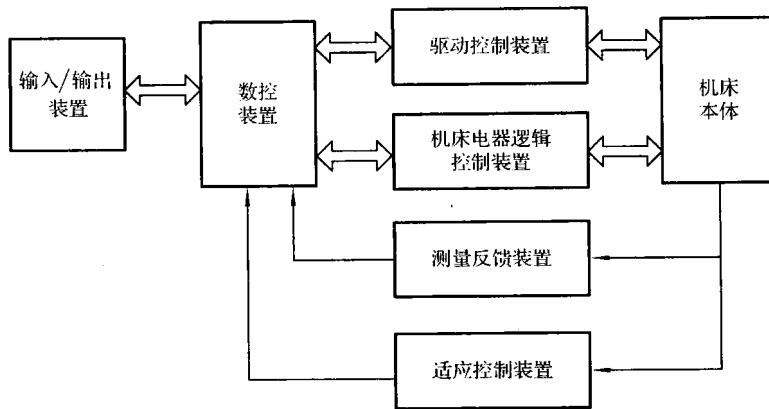


图 1-2 数控系统组成的一般形式

输入装置将数控加工程序、机床参数等各种信息输入数控装置。输出装置用于观察或监视输入内容及数控系统的工作状态。常用的输入/输出装置有：纸带阅读机、磁带机、磁盘驱动器、CRT 及各种显示器件、打印机及各种数据通信设备等。

数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是：正确识别和解释数控加工程序，对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理，完成各种输入、输出任务。其形式可以由数字逻辑电路构成的专用硬件数控装置或计算机数控装置。前者称为硬件数控装置或 NC 装置，其数控功能主要由硬件逻辑电路实现；后者称为 CNC 装置，其数控功能由计算机硬件和软件共同完成。数控装置将数控加工信息输出到机床的控制量主要有两种类型：一类是模拟或数字形式的连续控制量，送往驱动控制装置，完成零件加工的轨迹控制；另一类是二进制形式的开关控制量，送往机床电器逻辑控制装置，控制机床各组成部分实现各种数控功能。

驱动控制装置位于数控装置和机床本体之间，包括进给伺服驱动装置和主轴驱动装置。进给伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机等部分组成，它按照数控装置发出的位置控制命令和速度控制命令正确驱动机床的终端执行部件。电动机可以是各种步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机或直线电动机。主轴驱动装置主要由速度控制单元和主轴电动机组成，接受数控装置的指令，完成主轴的速度和方向控制。

机床电器逻辑控制装置接受数控装置发出的或来自控制面板的开关命令，主要完成机床主轴启动、停止和方向控制功能，换刀功能，工件装夹功能，冷却、液压、气动、润滑系统控制功能及其他机床辅助功能。机床电器逻辑控制功能可以由继电器控制线路或可编程程序控制器(PLC)完成。

测量反馈装置是闭环数控系统所特有的，它的作用是检测机床的实际位置、速度等参数，以电信号或数字信号的形式反馈给数控装置，使数控装置能够校核机床的实际位置和

指令位置的偏差,并由数控装置发出指令纠正所产生的偏差。

适应控制装置检测机床当前的环境,如温度、振动、摩擦、切削力等因素的变化,将信号输入数控装置,及时进行补偿,以提高机床的加工精度或生产率。适应控制装置仅用于高效率和高精度的数控机床。

此外,数控机床还配有各种辅助装置,其作用是配合机床完成对零件的加工。如切削液或油液处理系统中的冷却或过滤装置,油液分离装置,吸尘、吸雾装置等。除上述辅助装置外,个别数控机床还配备对刀仪,自动编程机,自动排屑器,物料储运,上、下料装置及交流稳压电源等。

现代数控系统多采用专用计算机或通用计算机完成数控装置主要功能,统称为计算机数控(CNC)系统。图 1-3 描述了 CNC 系统的典型结构。除传统的输入/输出装置外,CNC 系统还可以通过其他方式获得数控加工程序或机床参数,如通过键盘方式输入和编辑数控加工程序,通过通信方式输入其他计算机程序编辑器、自动编程器、CAD/CAM 系统或上位机所提供的数控加工程序或机床参数,还可以和其他数控机床或计算机构成网络系统。高档的数控装置本身已包含一套自动编程系统或 CAD/CAM 系统,只需采用键盘输入相应的信息,数控装置本身就能自动生成数控加工程序。

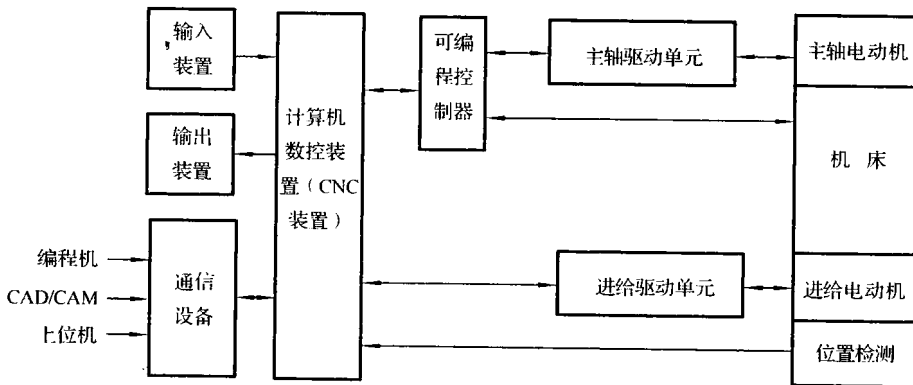


图 1-3 计算机数控(CNC)系统的典型结构

现代计算机数控系统具有更加开放的体系结构,计算机数控系统在软件作用下,可以实现各种硬件数控装置所不能完成的功能,如图形显示、系统诊断、各种复杂的轨迹控制算法和补偿算法的实现、智能控制的实现、通信及网络功能等。

现代计算机数控系统采用可编程控制器(PLC)取代了传统的机床电器逻辑控制装置,用 PLC 控制程序来实现数控机床的各种继电器控制逻辑。

1.2.2 数控系统的工作过程

计算机数控系统的主要任务是控制刀具和工件之间的相对运动。接通电源后,计算

机数控系统首先进行自检,对数控系统各部分的工作状态进行检查和诊断,并设置初始状态,例如,设置缺省指令代码和机床参数等。自检完成后,要进行加工前的准备工作,例如,机床回零点等。

数控系统具备了正常工作条件后,开始进行加工控制信息的输入。

数控加工程序可以通过各种控制介质(如纸带、磁带、光盘或磁盘等)输入数控装置,或者采用通信方式直接传输到数控装置,也可以由操作员直接利用数控装置本身的编辑器进行数控加工程序的编辑录入。根据需要,操作员可以通过 CRT/MDI 方式对读入的数控加工程序进行编辑修改。

输入到数控装置的加工程序必须适应实际的工件和刀具位置,因此,在加工前还要输入实际使用刀具的刀具参数,以及实际工件原点相对机床原点的坐标位置。

完成加工控制信息的输入后,可选择一种加工方式(手动方式或自动方式),启动加工运行,此时,数控装置在系统控制程序的作用下,对输入的加工控制信息进行预处理,即进行译码和预计算(如刀补计算、坐标变换等)。

系统进行数控加工程序译码时,将其区分成几何的、工艺的数据和开关功能。几何数据是刀具相对工件的运动路径数据,如有关 G 功能和坐标指定等,利用这些数据可加工出要求的工件几何形状;工艺数据是主轴转速和进给速度等功能,即 F 功能、S 功能和部分 G 功能;开关功能是对机床电器的开关命令,例如,主轴启/停、刀具选择和交换、冷却液、润滑液的启/停等辅助 M 功能指令等。

数控装置对加工控制信息预处理完毕后,开始逐段运行数控加工程序。

数控装置所产生的运动轨迹由各曲线段的起、终点及其连接方式(如直线和圆弧等)等主要几何数据给出,数控装置中的插补器能根据已知的几何数据进行插补计算。所谓插补(interpolation)一般是指已知曲线上的某些数据,按照某种算法计算已知点之间的中间点的方法,即数据“密化”计算。在数控系统中,插补具体是指根据曲线段已知的几何数据,以及相应工艺数据中的速度信息,计算出曲线段的起、终点之间的一系列中间点,分别向各个坐标轴发出方向、大小和速度都确定的协调的运动序列命令,通过各个轴运动的合成,产生数控加工程序要求的刀具运动轨迹。

插补器向各轴发出的运动序列命令为其位置调节器的命令值,位置调节器将其与机床上位置检测元件测得的实际位置相比较,经过调节,输出相应的位置和速度控制信号,伺服系统驱动机床各个轴运动,使刀具相对工件正确运动,加工出要求的工件轮廓。

由数控装置发出的开关命令在 PLC 控制下,在各加工程序段插补处理开始前或完成后,适时输出到机床控制部件。

在机床的运行过程中,数控系统要随时监视数控机床的工作状态,通过显示部件及时向操作者提供系统工作状态和故障情况。此外,数控系统还要对机床操作面板进行监控,因为机床操作面板的开关状态可以影响加工的状态。

1.3 数控机床的分类方法

数控机床的种类繁多,根据数控机床的功能和组成的不同,有多种分类方法。

1.3.1 按运动控制的特点分类

1. 点位控制数控机床

这类数控机床控制运动部件从一点准确地移动到另一点,在移动过程中不进行加工,如图 1-4(a)所示,因此,对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以先沿一个坐标轴移动完毕,再沿另一个坐标轴移动,也可以多个坐标轴同时移动,但是为了提高加工效率,保证定位精度,常常要求运动部件先以快速移动接近目标点,再以低速趋近并准确定位。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等。

2. 直线控制数控机床

这类机床的数控系统不仅要控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点,同时要控制两相关点之间的移动速度和轨迹,其轨迹一般与某一坐标轴相平行,如图 1-4(b)所示,也可以是和坐标轴成 45° 夹角的斜线,但不能为任意斜率的直线,且可一边移动一边切削加工,因此,其辅助功能要求也比点位控制数控系统多,一般要求具有主轴转数控制、进给速度控制和刀具自动交换等功能。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗床、数控铣床等。

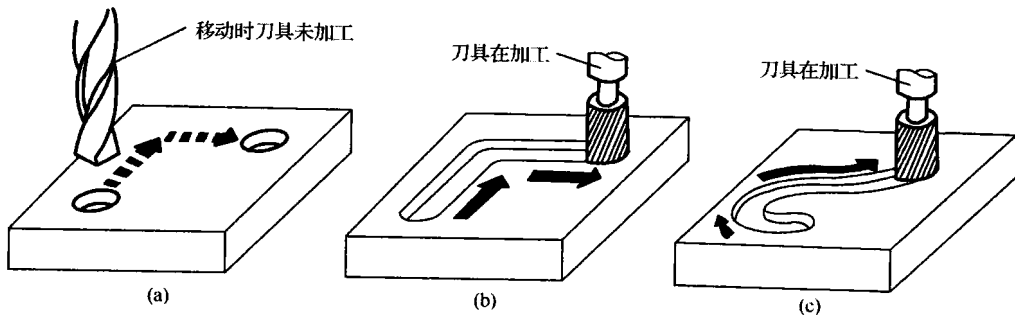


图 1-4 数控机床的点位、直线和轮廓控制

3. 轮廓控制数控机床

这类数控机床要求能够同时对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,如图 1-4(c)所示,使其合成的平面或空间的运动轨迹符合被加工工件形状的要求。这一要求由数控系统的插补器完成。这类数控系统具有点位和直线控制数控系统的所有功能,其辅助功能也比前两类都多。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控