

高等职业教育机电类规划教材

第2版

数控机床及其应用

李善术 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠 电 子 课 件
教 师 免 费 下 载

高等职业教育机电类规划教材

数控机床及其应用

第 2 版

主 编 李善术

参 编 刘同新 刘向红 周永喜

段文洁 刘 清 朱 锋

主 审 付维亚



YZLI0890127961



机械工业出版社

全书共分七章：第一章数控机床概述，第二章数控机床的程序编制，第三章计算机数控（CNC）系统，第四章数控机床的机械结构与部件，第五章进给伺服驱动及主轴驱动系统，第六章数控机床用可编程序控制器，第七章数控机床的使用和维修。本次修订参考 FANUC 数控系统最新使用说明书对第二章数控机床程序编制和第六章数控机床用可编程控制器作了较大修改。每章后附有适当的习题与思考题，便于学生复习。

本书可以作为高职院校数控技术专业、机电一体化技术专业、机械制造与自动化专业的教材，也可作为大专、中职、职大、电大师生及工程技术人员参考用书。

本书配有电子教学课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床及其应用/李善术主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2011.11

高等职业教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-34605-0

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—高等教育—教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 212999 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：郑丹 王英杰 王德艳

版式设计：霍永明 责任校对：申春香

封面设计：鞠杨 责任印制：乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·521 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-34605-0

定价：38.00 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

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

数控机床是发展高新技术产业最有效的装备。各国航空、航天、国防、机械制造等行业都广泛使用数控机床,以提高制造能力和水平,提高对市场的适应能力和竞争能力。因此,大力培养数控机床应用人才已成为加速经济发展、提高综合国力的重要途径。

本教材是在各学校使用十多年的《数控机床及其应用》的实际教学基础上,结合当前工厂数控机床实际使用情况,广泛征求专家、教师的意见,充分考虑职业技术教育特点,在第1版基础上进行修订的机电类专业教材。

本着职业技术教育以应用为主的教学原则,主要参考FANUC0i-MA数控系统操作说明书,对第二章数控机床的程序编制做了较多修改,增加了实际数控机床操作经常使用的工件坐标系预置指令、极坐标系指令、坐标系旋转指令等;另外,目前机床主流数控系统的宏程序比原教材中介绍的宏程序功能更强、更加透明,当然内容也较多,故单列第六节“用户宏程序”,既可作为教学内容,也可作为专题讲座;取消原第八节计算机自动编程,因为使用批处理方式编写加工源程序的方法现在用得很少,概念移入第九节,原第九节的内容也适当删除;经过修改后,第二章内容总量不变。第六章数控机床用可编程序控制器参考FANUC PMC梯形图编程语言说明书重新进行了修改,与当前机床使用的FANUC数控系统一致,内容做了修正。第一章和第三章的部分文字做了修改,使文字更简练,便于理解。为了满足课程设计和毕业设计教学的需要,保留了第三章的经济型CNC装置硬件结构和第七章的普通机床数控化改造等内容。

数控机床涵盖科学技术最新成果,课程内容涉及面广。考虑到机电类各专业对该课程内容需求的侧重不同,教材各章节内容相对独立,以便在教学中根据专业设置、学生知识结构情况及教学计划时数等灵活选用相关章节,组织教学。例如,数控机床加工、机械制造、模具制造类专业,应以第二章数控机床的程序编制为主,适当选取其他章节内容进行教学;数控机床维修类专业,应对数控机床全面了解,侧重第四章数控机床的机械结构与部件、第六章数控机床用可编程序控制器、第七章数控机床的使用与维修以及第五章伺服驱动系统;数控技术应用类专业,则应以第三章计算机数控(CNC)系统、第五章伺服驱动系统和第六章数控机床用可编程序控制器为主组织教学。第一章数控机床概述对各类专业来说,都是重点,通过该章的讲述,使学生尽快建立起数控机床的完整概念。

本教材满足高职院校数控技术专业、机电一体化技术专业、机械制造与自动化专业等教学要求,也可作为大专、中职、职大、电大师生及工程技术人员参考。

本教材由李善术主编,付维亚主审,参加修订的有刘同新、刘向红、周永喜、刘清、段文洁、朱锋等。同时对多年来参与、关心本教材编写,对本教材提出过宝贵建议和意见,使用本教材的各兄弟院校的教师们表示由衷的感谢。

因教材涉及内容广泛,编者水平有限,难免出现错误和处理不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

第1版前言

本书是在各学校多年使用《数控机床及其应用》教材的实际教学基础上,广泛征求教师、专家意见,结合高等职业技术教学特点和大纲精神,重新进行编写的机电类专业教材。

本着职业技术教育以应用为主的教学原则,适当增加了“数控机床的程序编制”一章的内容,除保留数控车床、数控铣床程序编制内容外,增加了加工中心程序编制等内容,以满足数控加工技术的发展。原第七章内容取消,改为第六章“数控机床用可编程控制器”,为学生实际调试数控机床奠定基础。增加第七章“数控机床的使用与维修”,并对其他章节的相关内容也做适当的调整,以满足厂矿企业对数控机床使用维修人员的需求。第四章“数控机床的机械结构与部件”也做了恰当的修改。为了满足课程设计和毕业设计教学需要,保留了“经济型CNC装置硬件结构”、“普通机床数控化改造”等课节内容。经编写后,教材的内容既突出应用为主,又能使学生对数控机床有全面的认识;既讲述基本原理,又注意理论与实际的结合;每章都附有适当的思考题及习题。

数控机床涵盖科学技术最新成果,课程内容涉及面广。考虑到机电类各专业对该课程内容需求的侧重不同,教材的各章节内容相对独立,以便于在教学中根据专业设置、学生知识结构情况及教学计划时数等灵活选用相关章节,组织教学。例如,数控机床加工、机械制造、模具制造类专业,应以第二章“数控机床程序编制”为主,适当选取其他章节内容进行教学;数控机床调试维修类专业,应当对数控机床全面了解,侧重第四章“数控机床的机械部件与结构”、第六章“数控机床用可编程控制器”、第七章“数控机床的使用与维修”以及第五章“伺服驱动系统”等;数控技术应用类专业,则应以第三章“计算机数控(CNC)系统”、第五章“伺服驱动系统”和第六章“计算机用可编程控制器”为主组织教学。第一章“数控机床概述”对各类专业来说,都是重点,通过该章的讲述,使学生尽快的建立起数控机床的完整概念。

本书可以满足职业技术学院机电类专业的教学要求,可供大专、职大、电大师生及工程技术人员参考。

本书由陕西工业职业技术学院李善术主编,付维亚主审。参加修编的有赵云龙、刘向红、周永喜、刘清、段文洁等,周永喜在绘制插图和文字整理工作中做了大量的工作,在此表示感谢。同时对多年来参与、关心该教材编写,对该教材提出过宝贵建议和意见,使用该教材的各兄弟院校的教师们表示由衷感谢。

因教材涉及内容广泛,编者水平有限,难免出现错误和处理不妥之处,请读者批评指正。

编者

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 数控机床概述 1

第一节 数控机床简介 1

第二节 数控机床的组成、工作原理 和特点 2

第三节 数控机床的分类 9

第四节 数控机床的发展趋势 15

习题与思考题 20

第二章 数控机床的程序编制 21

第一节 程序编制的基本知识 21

第二节 数控机床加工工艺分析 28

第三节 常用准备功能和辅助功能 38

第四节 数控车床程序编制 48

第五节 数控铣床程序编制 62

第六节 用户宏程序 78

第七节 加工中心程序编制 87

第八节 数控编程的数学处理 95

第九节 CAD/CAM 概述 101

习题与思考题 109

第三章 计算机数控 (CNC) 系统 111

第一节 CNC 系统的基本概念 111

第二节 CNC 系统的硬件结构 116

第三节 经济型 CNC 装置硬件结构 124

第四节 软件插补方法 134

第五节 进给速度控制 153

第六节 系统软件结构简介 158

习题与思考题 161

第四章 数控机床的机械结构与部件 163

第一节 数控机床的结构组成及特点 163

第二节 数控机床的主传动系统及 主轴部件 170

第三节 数控机床进给系统机械

传动部分元件 178

第四节 自动换刀装置 189

第五节 分度工作台和回转工作台 199

习题与思考题 204

第五章 伺服驱动系统 205

第一节 概述 205

第二节 步进电动机开环伺服系统 208

第三节 闭环伺服驱动系统 221

第四节 主轴驱动 234

第五节 检测元件 238

习题与思考题 254

第六章 数控机床用可编程序控制器 255

第一节 可编程序控制器概述 255

第二节 数控机床控制对象及接口信号 258

第三节 梯形图工作原理 261

第四节 PMC 指令系统和编程 265

第五节 梯形图应用举例 277

习题与思考题 288

第七章 数控机床的使用与维修 289

第一节 数控机床的选用 289

第二节 安装与调试 296

第三节 数控机床的验收 301

第四节 数控机床的使用与维修 309

第五节 普通机床数控化改造 317

习题与思考题 326

附录 327

附录 A EIA RS-244A 代码 327

附录 B ISO-840 代码 327

附录 C 数控机床用 EIA 编码表 328

附录 D 数控机床用 ISO 编码表 329

附录 E G 代码一览表 330

参考文献 331

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床简介

一、计算机促进了数控机床的发展

20 世纪最伟大的发明之一——计算机的出现和应用, 为人类提供了实现机械加工工艺过程自动化的理想手段。当科技人员首次把计算机作为一种信息处理装置移植到古老机床中时, 一种新的产品——数控机床诞生了。随着计算机的发展, 数控机床也得到迅速的发展和广泛的应用, 特别是加工中心 (MC, Machining Center)、直接数字控制系统 (DNC, Direct Numerical Control)、柔性制造系统 (FMS, Flexible Manufacturing System)、计算机集成制造系统 (CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)、智能制造系统 (IMS, Intelligent Manufacturing System) 等的出现, 使数控机床已成为现代制造技术的基础, 同时使人们对传统的机床传动及结构的概念发生了根本的转变。数控机床水平的高低和拥有量的多少, 是衡量一个国家工业现代化的重要标志。

数控机床以数字信息技术为基础, 集传统的机械制造技术、微电子技术、计算机技术、成组技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光电技术等技术的最新成果而迅速发展和广泛应用, 使得普通机械加工设备逐渐被高效率、高精度的数控机床所取代, 从而形成了巨大的生产力, 导致机械制造业发生根本的变化。

二、数控机床与自动化加工

在机械制造行业中, 长期以来, 人们一直在探索如何实现机械加工工艺自动化。实现自动化, 不仅可以提高产品的质量, 提高生产率, 降低成本, 而且能改善工人的劳动条件。

传统的机械制造行业, 如汽车、拖拉机、家用电器等行业中采用自动机床、组合机床和专用自动生产线实现机械加工自动化, 这种自动化设备适合大批量的生产条件, 并需要很大的资金以及较长的生产准备时间。机床生产厂、国防部门等机械制造行业, 其生产特点是加工批量小, 改型频繁, 零件的形状复杂, 而且精度要求高, 采用专用自动化机床显然不合理, 因为经常改装、调整专用自动化机床是不可能实现的, 长期以来只能采用普通机床进行加工。随着市场竞争日趋激烈, 为满足市场不断变化的需要, 必须改变产品单一且长期不变的生产方式, 开发研制新产品, 改变大批大量的生产格局。传统的机械加工自动设备和普通机床的缺点日益暴露, 不能适应市场竞争要求, 采用高质量、高效益、多品种和小批量柔性生产方式已是现代企业生存与发展的必要条件。而数控机床能极其有效地解决这一系列矛盾, 为加工出精度高、形状复杂的单件或小批量零件提供自动加工手段。

机床数字控制技术, 简称机床数控技术, 是以数字化的信息处理实现机床自动控制的一门技术。采用数字化信息处理控制的机床称为数字控制机床, 简称数控机床。

数控机床把刀具和工件之间的相对位置, 机床电动机的起动和停止, 主轴变速, 工件松开、夹紧, 刀具的选择, 冷却泵的起动、停止等各种操作和顺序动作等信息用数码化的数据记录在控制介质 (如穿孔带或磁带) 上, 然后将数字信息送入数控装置或计算机, 经过译

码、运算,发出各种指令控制机床伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需工件。

数字化信息的处理是在数字控制系统进行的。最初的数字控制(NC, Numerical Control)系统是由数字逻辑电路构成的,因而称为硬件数控系统。随着计算机技术的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,被计算机数控(CNC, Computer Numerical Control)系统取代。CNC系统完全由软件处理数字信息,具有真正意义上的柔性,可以处理逻辑电路难以处理的复杂信息,使数控机床的性能大大提高。

数控机床的突出特点是当工件改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需要更换含有该工件加工信息的介质(例如穿孔带),而不需要对数控机床作任何调整。这种灵活、通用并能迅速适应工件变更的特性,称为柔性。传统的自动加工机械不具备柔性特点。

数字控制和顺序控制是两个不同的概念。数字控制过程是自动化控制过程,进行自动控制的指令,是由数字控制系统对数字化信息经过信息处理(数字运算)后生成的,并对各种动作的位移量、速度和顺序实现自动控制。顺序控制只能控制各种自动加工动作的先后顺序,对运动部件的位移量不能控制,位移量的改变是靠预先调整好尺寸的挡块等方式实现的。

数控技术不仅用于数控机床的控制,还用于控制其他机械设备,例如自动绘图仪、数控测量机、数控编织机、数控剪裁机、机器人等。

三、数控机床的产生

第一台数控机床是为了适应航空工业制造复杂工件的需要产生的。1952年,美国麻省理工学院和帕森斯公司合作研制成功了世界上第一台具有信息存储和处理功能的新型机床,即数控机床。之后,随着电子技术,特别是计算机技术的发展,数控机床不断更新换代。

第一代数控机床从1952年~1959年,采用电子管元件;第二代数控机床从1959年开始,采用晶体管元件;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。

我国从1958年开始研制数控机床,1975年又研制出第一台加工中心。改革开放以来,由于引进国外的数控系统与伺服系统,我国的数控机床在品种、数量和质量方面都得到迅速发展。从1986年开始,我国数控机床开始进入国际市场。我国有几十家机床厂能够生产数控机床和加工中心。不过数控系统依然主要引进国外数控系统。目前,我国机械加工设备数控化率大约在15%~20%,是全球最大的数控机床消费国,也是世界上最大的数控机床进口国,而且设备数控化率还会加快。

第二节 数控机床的组成、工作原理和特点

数控机床是一种利用信息处理技术进行自动加工控制的金属切削机床,是数控技术运用的典范。熟悉数控机床的组成,不仅能掌握数控机床的工作原理,还能掌握数控技术在其他行业的应用。

一、数控机床的组成及工作原理

数控机床由控制介质、人机交互设备、计算机数控装置、进给伺服驱动系统、主轴驱动系统、辅助控制装置、可编程序控制器(PLC, Programmable Logic Controller)、反馈系统和适应控制装置等部分组成,如图1-1所示。各部分的工作原理简述如下。

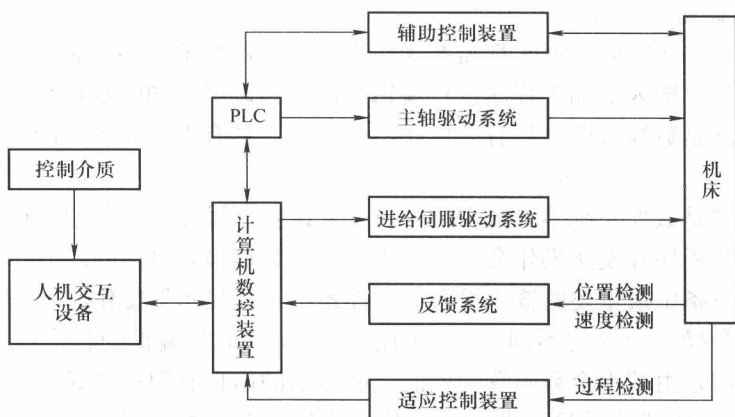


图 1-1 数控机床的组成框图

1. 控制介质

要对数控机床进行控制，就必须在人与数控机床之间建立某种联系，这种联系的中间媒介物就是控制介质，又称为信息载体。在使用数控机床之前，先要根据工件图上规定的尺寸、形状和技术条件，编制出工件的加工程序，将加工工件时刀具相对于工件的位置和机床的全部动作顺序，按照规定的格式和代码记录在信息载体上。需要在数控机床上加工该工件时，把信息载体上存放的信息（即工件加工程序）输入计算机控制装置。常用的控制介质有穿孔带、穿孔卡、磁盘和光盘。

传统的方式是将编制好的程序记录在穿孔带上，穿孔带是八单位标准黑色穿孔纸带的简称，它的尺寸如图 1-2 所示。穿孔带每行共有 9 个孔，其中 $\phi 1.17\text{mm}$ 的小孔是同步孔， $\phi 1.33\text{mm}$ 孔为信息孔。信息采用代码形式按规定格式存储在穿孔带上。代码就是由一些信息孔按标准排列的一行二进制图案，每一行代码分别表示一个十进制数或一个英文字母或一个功能符号。国际上通用 EIA 代码和 ISO 代码（见附录 A 和附录 B）。穿孔带上的代码信息可由光电阅读机送入计算机控制装置。

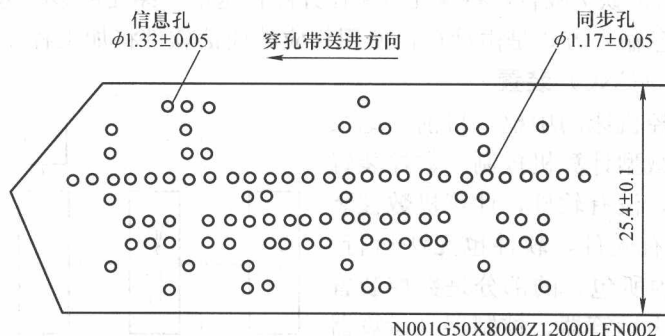


图 1-2 八单位标准黑色穿孔纸带

随着计算机技术的发展，计算机中的通用外设存储装置也融入数控系统，例如计算机中的软、硬磁盘驱动器和光盘驱动器作为存储信息的介质引入数控系统。与穿孔带相比，它们存储容量大，存取速度快，存取方便，所以成为数控机床的主要控制介质。

2. 人机交互设备

数控机床在加工运行时,通常都需要操作人员对数控系统进行状态干预和输入控制介质存放的加工程序,对输入的加工程序进行编辑、修改和调试,同时数控系统要显示数控机床运行状态等,也就是数控机床要具有人机联系的功能。具有人机联系功能的设备统称人机交互设备。

键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互设备。操作人员可通过键盘输入简单的加工程序、编辑修改程序和发送操作命令,即进行手工数据输入(MDI, Manual Data Input),因而键盘是交互设备中最重要的输入设备。数控系统通过显示器提供必要的信息,根据数控系统所处的状态和操作命令的不同,显示的信息可以是正在编辑的程序或是机床的加工信息。简单的显示器是由若干个数码管构成的,能显示的信息有限;高级的数控系统一般都配有CRT显示器或点阵式液晶显示器,显示信息丰富。低档的CRT显示器或液晶显示器只能显示字符,高档显示器还能显示加工轨迹图形。

光电阅读机是一种传统的人机交互设备,也称读带机,它的作用是将穿孔带上的代码逐行地转换成数控装置可以识别和处理的电信号。图1-3所示是其结构示意图,灯泡5发出的光,经过透镜4会聚成一条窄光带,再穿过穿孔带6照到九个光敏元件10上,九个光敏元件与穿孔带上八个信息孔和一个同步孔的位置一一对应。由于穿孔带上有孔或无孔使光敏元件受光或不受光而改变阻值,再转换为电压高低变化的电信号,输入数控装置。走带时,先起动小电动机2带动主动轮3,这时制动电磁铁9断电,启动电磁铁12吸合衔铁11,使压轮13把穿孔带压向主动轮3,主动轮带动绕在左右导向轮1和8上的穿孔带自右向左移动。当穿孔带代码出现程序结束的信息时,制动电磁铁9将衔铁7吸合,将穿孔带夹住并停止送带。穿孔带移动速度可达200行/s。

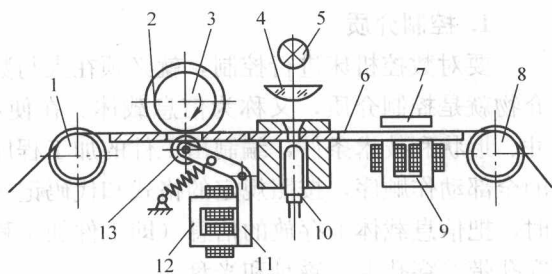


图 1-3 光电阅读机结构示意图

1、8—导向轮 2—电动机 3—主动轮 4—透镜 5—灯泡
6—穿孔带 7、11—衔铁 9、12—电磁铁
10—光敏元件 13—压轮

走带时,先起动小电动机2带动主动轮3,这时制动电磁铁9断电,启动电磁铁12吸合衔铁11,使压轮13把穿孔带压向主动轮3,主动轮带动绕在左右导向轮1和8上的穿孔带自右向左移动。当穿孔带代码出现程序结束的信息时,制动电磁铁9将衔铁7吸合,将穿孔带夹住并停止送带。穿孔带移动速度可达200行/s。

目前常用的信息输入方式是由计算机使用相应的通信软件将加工程序送入数控机床。

3. 计算机数控(CNC)装置

数控装置是数控机床的中枢,目前,绝大部分数控机床采用微型计算机控制。数控装置由硬件和软件组成,没有软件,计算机数控装置就无法工作;没有硬件,软件也无法运行。图1-4中点画线框内所包含的部分是数控装置硬件结构框图,它由运算器、控制器(运算器和控制器构成CPU)、存储器、输入接口、输出接口等组成。

图1-4中,输入接口接收由计算机送入的代码信息,经过识别与译码之后送到指定存储区,作为控制与运算的原始数据,信息传递过

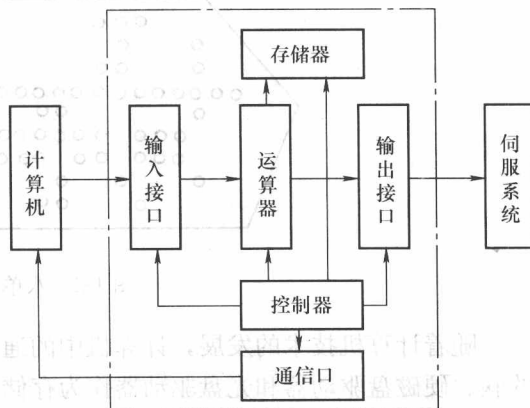


图 1-4 数控装置结构框图

程是由数控系统通信程序控制。简单的加工程序可用手动数据输入方式 (MDI) 输入, 即在键盘控制程序的控制下, 操作人员直接用键盘把工件加工程序输入存储器。数控机床的加工过程可概括为数据处理、插补运算、位置控制三个基本部分, 整个过程在系统管理程序的控制下有条不紊地进行工作。

4. 进给伺服驱动系统

进给伺服驱动系统由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成。进给伺服系统的性能是决定数控机床加工精度和生产效率的主要因素之一, 图 1-5 所示是进给伺服驱动系统框图。

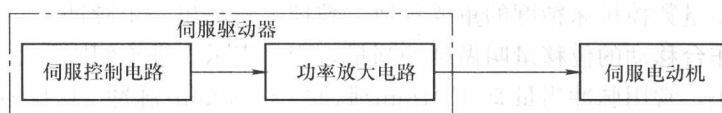


图 1-5 进给伺服驱动系统框图

伺服驱动的作用是把来自数控装置的位置控制移动指令转变成机床工作部件的运动, 使工作台按规定轨迹移动或精确定位, 加工出符合图样要求的工件。因为进给伺服驱动系统是数控装置和机床本体之间的联系环节, 所以伺服控制电路和功率放大电路负责处理数控装置发送来信号并驱动伺服电动机。早期伺服系统把控制电路、功率放大电路制作成电路板, 体积较大, 接线复杂。由于科技迅速发展, 目前将伺服控制电路和功率放大电路做成一体, 由计算机控制, 装配成小箱体结构, 称伺服驱动器。通常伺服电动机和编码器做成一体, 电缆线单独引出。伺服驱动器和伺服电动机匹配使用, 构成闭环控制。图 1-6 所示是伺服驱动器和伺服电动机的外形图, 图 1-6a 是伺服驱动器; 图 1-6b 是伺服电动机。

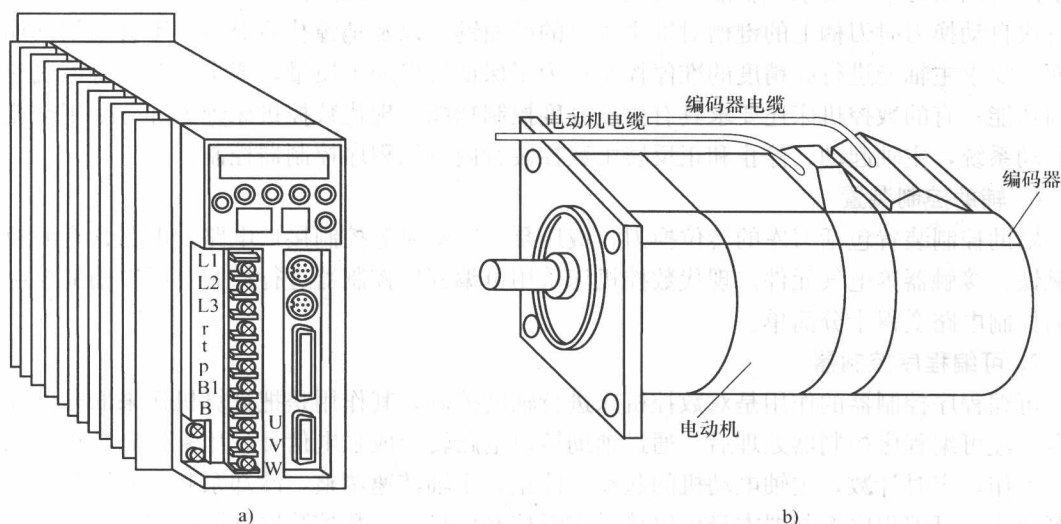


图 1-6 伺服驱动器和伺服电动机

a) 伺服驱动器 b) 伺服电动机

常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。根据接收指令的

不同,伺服驱动有脉冲式和模拟式,而模拟式伺服驱动方式按驱动电动机的电源种类不同,可分为直流伺服驱动和交流伺服驱动。步进电动机采用脉冲式伺服驱动方式,交、直流伺服电动机采用模拟式伺服驱动方式。

进给伺服驱动系统是控制数控机床工作台或移动刀架的位置控制系统。为了保证数控机床的加工精度,一般要求定位精度为 $0.01\sim 0.001\text{mm}$,精密数控机床要求定位精度达到 0.0001mm ;要求响应要快,稳定性要好,为保证系统的跟踪精度,要求动态过程在 200ms 甚至几十毫秒以内,同时要求超调量要小;要求进给速度在 $0\sim 24\text{m/min}$ 能正常工作,高性能数控机床要求在 $0\sim 240\text{m/min}$ 可以连续调整;要求在低速进给时输出较大的转矩。

脉冲当量是衡量数控机床精度的重要参数。数控装置输出一个脉冲信号(一个移位节拍指令)使机床工作台移动的位移量叫做脉冲当量,用 δ 表示。进给伺服驱动系统定位精度越高,脉冲当量越小,常用脉冲当量有 0.01mm/脉冲 、 0.05mm/脉冲 、 0.001mm/脉冲 ,精密数控机床要求达到 0.0001mm/脉冲 。

5. 主轴驱动系统

机床的主轴驱动系统和进给伺服驱动系统差别很大,机床主轴的运动是旋转运动,机床进给运动主要是直线运动。早期的数控机床一般采用三相感应同步电动机配上多级变速器作为主轴驱动的主要方式。现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求,要求主轴具有很高的转速(液压冷却静压主轴可以在 20000r/min 的高速下连续运行)和很宽的无级调整范围,能在 $1:100\sim 1:1000$ 内进行恒转矩调整和在 $1:10\sim 1:30$ 内进行恒功率调整;主传动电动机应具有 $2.2\sim 250\text{kW}$ 的功率,既要能输出大的功率,又要求主轴结构简单,同时要求数控机床的主轴驱动系统在主轴的正反方向都可以实现转动和加减速运行。

为了使数控车床进行螺纹车削加工,要求主轴和进给驱动实现同步控制;在加工中心上为了能自动换刀,还要求主轴能实现正反方向旋转和加速、减速控制;在加工中心上为了保证每次自动换刀时刀柄上的键槽对准主轴上的端面键,以及精镗孔后退刀时不会划伤已加工表面,要求主轴能进行高精度的准停控制;为了保证端面加工质量,要求主轴具有恒线速度切削功能;有的数控机床还要求具有角度分度控制功能。现代数控机床绝大部分采用交流主轴驱动系统,主轴起动、停止和正反转由数控装置内可编程序控制器控制。

6. 辅助控制装置

辅助控制装置包括刀库的转位换刀,液压泵、冷却泵等控制接口电路,电路含有的换向电磁铁、接触器等电气元件。现代数控机床采用可编程序控制器进行控制,所以辅助控制装置的控制电路变得十分简单。

7. 可编程序控制器

可编程序控制器的作用是对数控机床进行辅助控制,其作用是把计算机送来的辅助控制指令,经可编程序控制器处理后,通过辅助接口电路转换成强电信号,用来控制数控机床的顺序动作,定时计数,主轴电动机的起动、停止,主轴转速调整,冷却泵起、停以及转位换刀等动作。可编程序控制器本身可以接受实时控制信息,同数控装置共同完成对数控机床的控制。

可编程序控制器(PC, Programmable Controller)是一种以微处理器为核心的通用型工业控制装置,能在使用条件较差的工业环境下应用。由于最初研制这种装置的目的是为了解决机械设备的逻辑及开关量控制,故也称可编程序逻辑控制器(PLC, Programmable

Logic Controller)。当 PLC 用于控制机床顺序动作时,也可称为可编程序机床控制器(PMC, Programmable Machine Controller)。现在通常用 PLC 表示可编程序控制器,而用 PC 表示个人计算机(Personal Computer)。

PLC 采用存放在程序存储器中的编程序进行工作,编程序包括逻辑运算、顺序控制、定时计数和算术运算等操作指令,并通过输出数字量或模拟量形式控制机械设备的生产过程。

在 PLC 出现之前,机床的动作顺序控制是以机床当前运行状态为依据,控制机床按规定好的动作依次有序地工作。实现动作顺序控制的手段是传统的继电器逻辑电路(RLC, Relay Logic Circuit),这种电路是将继电器、接触器、开关、按钮等电气分立元件用导线连接而成的控制回路,由于继电器逻辑电路存在体积大、耗电量多、寿命短、可靠性差、动作迟缓、柔性低、不易扩展等许多缺点,逐渐被 PLC 组成的顺序控制系统所取代。PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。

CNC 和 PLC 协调配合共同完成数控机床的控制,其中 CNC 主要完成与数字运算和管理有关的功能,如工件程序的编辑、插补运算、译码、位置伺服控制等;PLC 主要完成与逻辑运算有关的动作,如工件装夹、刀具的更换、切削液的开停等辅助动作,它还接受机床操作面板的控制信息,一方面直接控制机床的动作,另一方面将一部分指令送往 CNC 用于加工过程的控制。

数控机床上使用的 PLC 可以分成两类:一类是 CNC 生产厂家为实现数控机床的顺序动作控制,而将 CNC 和 PLC 综合起来设计,称为内装型 PLC,内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分;另一种是以独立、专业化的 PLC 生产厂家的产品实现数控机床的顺序控制功能,称为独立型 PLC。

内装型 PLC 与 CNC 之间的信息传送在 CNC 内部进行,PLC 与机床(MT, Machine Tool)之间信息传送通过 CNC 的输入/输出接口电路实现。这种类型的 PLC 不能独立工作,只是 CNC 向 PLC 功能的扩展,两者不能分离。内装型 PLC 可与 CNC 共用一个 CPU,如西门子的 SINUMERIK 810、820 等数控系统,也可以单独使用一个 CPU,如 FANUC 的 0 系统和 15 系统,美国 A-B 公司 8400、8600 等。由于 CNC 功能和 PLC 功能在设计时一同考虑,因而这种类型的数控系统在硬件和软件整体结构上合理、实用,性能价格比高,适用于同类型或类型变化不大的数控机床。由于 PLC 和 CNC 之间没有多余的连线,并且 PLC 上的信息能通过 CNC 显示器显示,PLC 的编程更为方便,而且故障诊断功能和系统的可靠性也有提高。

数控机床生产厂家也可选用独立型 PLC,特别是当数控机床的功能扩展和变更时,如向 FMC、CIMS 发展时,不至于使原数控系统做很大的变动。独立型 PLC 与 CPU 之间通过输入/输出接口连接。

目前,国内引进的 PLC 产品有百种之多,著名的有西门子公司的 SIMATIC 系列,日本立石公司的 OMRON-SYS-MAC 系列,以及日本 FANUC 公司的 PMC 系列。

8. 反馈系统

反馈系统的作用是通过测量装置将机床移动的实际位置、速度参数检测出来,转换成电信号,并反馈到 CNC 装置中,使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致,并发出相应指令,纠正所产生的误差。

测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上,相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛。按有无检测装置,CNC系统可分为开环与闭环系统,而按测量装置安装的位置不同又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电动机和丝杠的精度,闭环数控系统的精度取决于测量装置的精度。因此,检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。目前,由于进给伺服系统功能更加完善,可以把电动机直接连在丝杠上,因而电动机和测量元件编码器做成一体,脉冲当量调整也十分方便,只要调整驱动器中的位置指令脉冲分频(俗称电子齿轮)参数,就可获得满意的结果。

9. 适应控制装置

数控机床工作台的位移量和速度等过程参数可在编写程序时用指令确定,但是有一些因素在编写程序时是无法预测的,如加工材料力学性能的变化引起切削力变化,加工现场的温度等,这些随机变化的因素也会影响数控机床的加工精度和生产效率。适应控制(AC, Adaptive Control)的目的就是把加工时出现的随机因素对加工的影响减到最小。

适应控制是采用各种传感器测出加工过程中的温度、扭矩、振动、摩擦、切削力等因素的变化,与最佳参数比较,若有误差及时补偿,以期提高加工精度或生产率。目前,适应控制仅用于高效率 and 加工精度高的数控机床,一般数控机床很少采用。

二、数控机床的特点

数控机床是高精度和高生产率的自动化加工机床,与普通机床相比,应具有更好的抗振性和刚度,要求相对运动面的摩擦因数要小,进给传动部分之间的间隙要小。所以其设计要求比通用机床更严格,加工制造要求精密,并采用加强刚性、减小热变形、提高精度的设计措施。

在大批量生产条件下,采用机械加工自动化可以取得较好的经济效益。大批量生产中加工自动化的基础是工艺过程的严格性,从而可以建立自动流水线。对于小批量的产品生产,由于生产过程中产品品种变换频繁,批量小,加工方法的区别大,因此实现加工自动化存在相当的难度,不能采用大批量生产的刚性自动化方式。因此,大力发展柔性制造技术成为机械加工自动化必然出路。

柔性制造技术实际上是由计算机控制的自动化制造技术,包含计算机数控的单台加工设备和各种规模的自动化制造系统。所以数控机床是实现柔性自动化的重要设备,与其他加工设备相比,数控机床具有如下特点:

(1) 适应性强,适合加工单件或小批量复杂工件 在数控机床上改变加工工件时,只需要重新编制新工件的加工程序,更换新的控制介质或用手动方式输入工件程序,就能实现新工件加工。数控机床加工工件时,只需要简单的夹具,所以改变加工工件后,也不需要制作特别的工装夹具,更不需要重新调整机床。因此,数控机床特别适合单件、小批量及试制新产品的工件加工。

(2) 加工精度高,产品质量稳定 数控机床的脉冲当量普遍可达 0.001 mm/脉冲 ,传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,工件加工精度高,进给系统采用消除间隙措施,并对反向间隙和丝杠螺距误差等由数控系统实现自动补偿,所以加工精度高。特别是因为数控机床加工完全是自动进行的,这就消除了操作者人为产生的误差,使同一批工件的尺寸一致性好,加工质量十分稳定。

(3) 生产率高 工件加工所需时间包括机动时间和辅助时间,数控机床能有效地减少这

两部分时间。数控机床主轴转速和进给量的调速范围都比普通机床的大,机床刚性好,快速移动和停止采用了加速、减速措施,因而既能提高空行程运动速度,又能保证定位精度,有效地减少了加工时间。

数控机床更换工件时,不需要调整机床,同一批工件加工质量稳定,无需停机检验,故辅助时间大大缩短。特别是使用自动换刀装置的加工中心,可以在一台机床上实现多工序连续加工,生产效率的提高更加明显。

(4) 减轻劳动强度,改善劳动条件 数控机床加工是自动进行的,工件加工过程不需要人为干预,加工完毕后自动停车,工人的劳动条件大为改善。

(5) 良好的经济效益 虽然数控机床价格昂贵,分摊到每个工件上的设备费用较大,但是使用数控机床可节省许多其他费用。例如,工件加工前不用划线工序,工件安装、调整、加工和检验所花费的时间少,特别是不要设计制造专用工装夹具,加工精度稳定,废品率低,减少了调度环节等,所以总体成本下降,可获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理现代化 数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、制造以及实现生产过程的计算机管理与控制奠定了基础。

第三节 数控机床的分类

数控机床的品种很多,通常按下面四种方法进行分类。

一、按工艺用途分类

1. 一般数控机床

普通的数控机床有钻床、车床、铣床、镗床、磨床和齿轮加工机床。图 1-7 所示是 CK7815 数控车床,图 1-8 所示是 XK5040 A 型数控铣床。它们和传统的通用机床工艺用途相似,但生产率和自动化程度比传统机床高,都适合加工单件、小批量和复杂形状的工件。

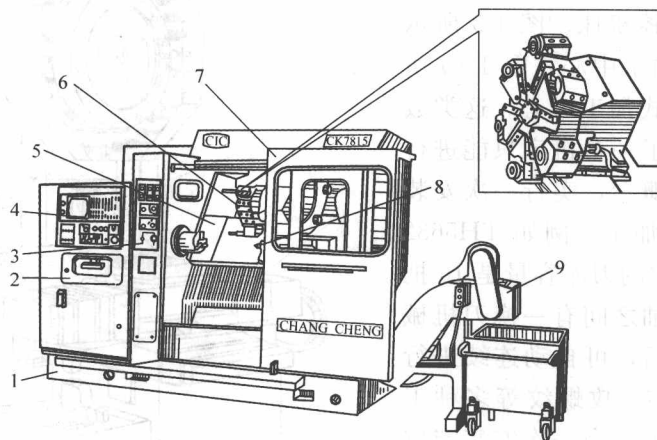


图 1-7 CK7815 数控车床

1—床体 2—光电读带机 3—机床操作台 4—数控系统操作面板
5—倾斜 60°导轨 6—刀盘 7—防护门 8—尾架 9—排屑装置

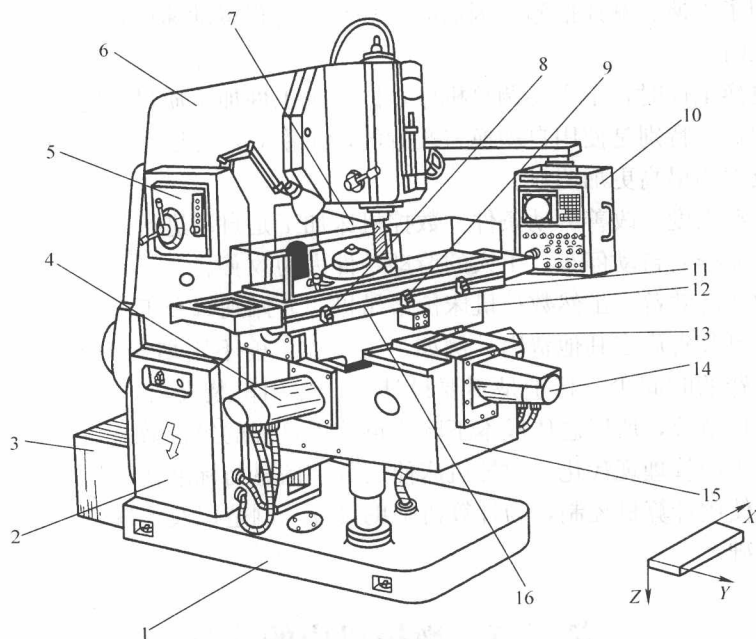


图 1-8 XK5040A 型数控铣床

- 1—底座 2—强电控制柜 3—变压器箱 4—升降进给伺服电动机 5—主轴变速手柄和按钮板 6—床身立柱
7—数控柜 8、11—纵向行程限位保护开关 9—纵向参考点设定挡铁 10—操纵箱 12—横向溜板
13—纵向进给伺服电动机 14—横向进给伺服电动机 15—升降台 16—纵向工作台

2. 加工中心

加工中心是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置，构成一种带自动换刀装置的数控机床。图 1-9 所示是 XH754 型卧式加工中心，图 1-10 所示是 TH5632 型立式加工中心。这类数控机床的出现打破了一台机床只能进行单工种加工的传统概念，实行一次安装定位，完成多工序加工。例如 TH5632 型立式加工中心，它的刀库容量是 16 把刀具，在刀具和主轴之间有一换刀机械手，工件一次装夹后，可自动连续进行铣、钻、镗、铰、扩、攻螺纹等多种工序加工。数控加工中心因一次安装定位完成多工序加工，避免了多次安装造成的误差，减少机床台数，提高了生产效率和加工自动化程度。

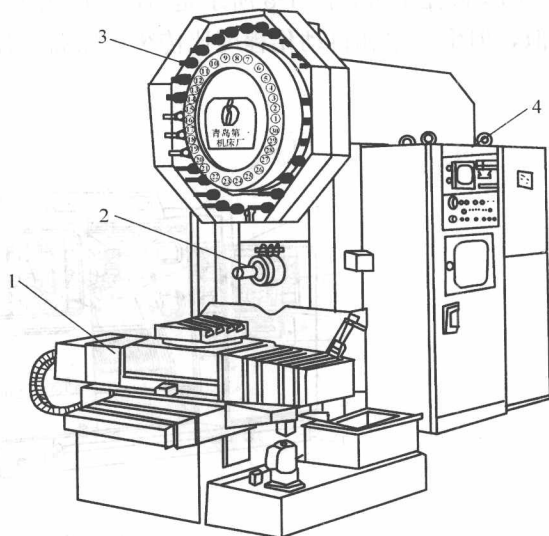


图 1-9 XH754 型卧式加工中心

- 1—工作台 2—主轴 3—刀库 4—数控柜

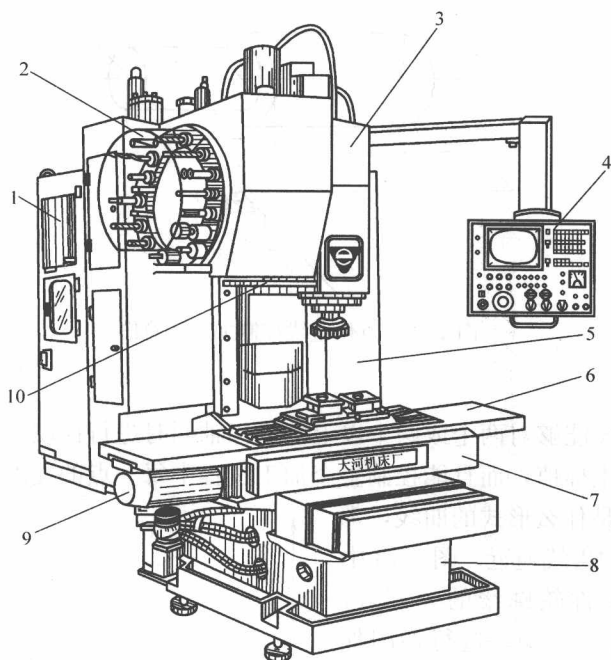


图 1-10 TH5632 型立式加工中心

1—数控柜 2—刀库 3—主轴箱 4—操纵台 5—驱动电源柜 6—纵向工作台
7—滑座 8—床身 9—X 轴进给伺服电动机 10—换刀机械手

3. 多坐标轴数控机床

有些复杂的工件，例如螺旋桨、飞机发动机叶片曲面等用三坐标数控机床无法加工，于是出现了多坐标轴的数控机床，其特点是控制轴数较多，机床结构比较复杂。坐标轴的轴数取决于加工工件的工艺要求。

二、按控制的运动轨迹分类

1. 点位控制

点位控制数控机床只要求获得准确的加工坐标点的位置。由于数控机床只是在刀具或工件到达指定位置后才开始执行切削任务，在运动过程中并不进行加工，所以从一个位置移动到另一个位置的运动轨迹不需要严格控制。数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等均采用点位控制。图 1-11 所示是点位控制加工示意图。因为这类机床最重要的性能指标是要保证孔的相对位置，并要求快速点定位，以便减少空行程时间，经常采用的控制方式是当刀具或工件接近定位点时，分两步完成，首先降低移动速度，然后实现准确停止。

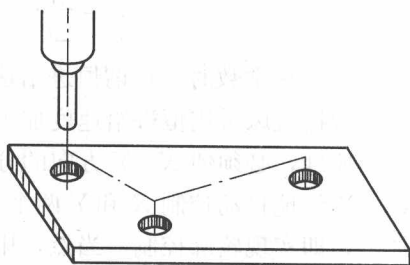


图 1-11 点位控制加工示意图

2. 点位直线控制

点位直线控制数控机床，除了要求控制位移终点位置外，还能实现平行坐标轴的直线切削加工，并且可以设定直线切削加工的进给速度。例如在车床上车削阶梯轴、在铣床上铣削台阶面等。图 1-12 所示是点位直线控制加工示意图。