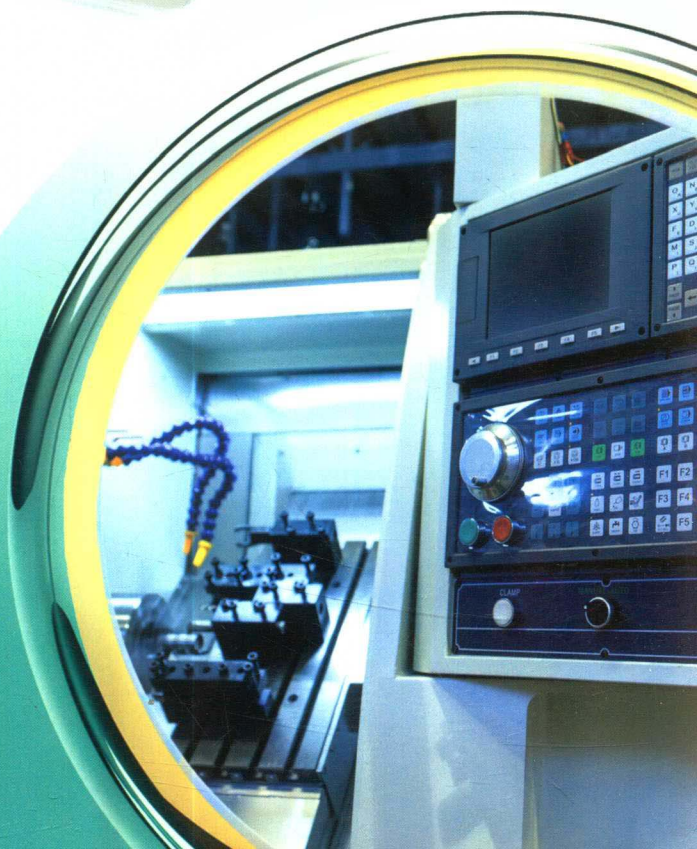


SHUKONG CHEGONG GONGYI
BIANCHENG YU CAOZUO

数控车工艺 编程与操作

荀占超 赵艳珍 田峰◎主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控车工工艺编程与操作

主 编 荀占超 赵艳珍 田 峰
副主编 杨 军 荀 骁 苏西井
参 编 张 楠 宋振源 梁利军



机械工业出版社

本书在编写过程中,以“注重实践、强化应用”为指导思想,突出职业能力培养,使教学内容与企业要求相一致,教学过程与生产过程相一致,教材内容与国家职业标准相一致。全书共分四个教学项目:数控车削加工工艺、广数 GSK980TD 系统编程与操作、FANUC 0i-Mate-TD 系统编程与操作、CAXA 数控车 2013 自动编程。本书通过相关知识和技能实训,将理论与实践相融合,能够充分发挥学生的创造潜能,提高学生解决实际问题的综合能力。

本书可作为普通本科院校、职业院校、技工学校数控、机械、机电专业的教材,同时可作为高校金工实训教材,还可作为企业培训中、高级技术工人的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控车工工艺编程与操作 / 荀占超, 赵艳珍, 田峰主编. —北京: 机械工业出版社, 2017.8

ISBN 978-7-111-57178-0

I. ①数… II. ①荀… ②赵… ③田… III. ①数控机床—车床—程序设计 ②数控机床—车床—操作 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 188428 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: 王晓洁 责任编辑: 王晓洁

责任校对: 刘雅娜 封面设计: 马精明

责任印制: 李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm×260mm · 16.5 印张 · 399 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-57178-0

定价: 45.00 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

前 言

随着社会经济和科学技术的发展,社会劳动力市场对技术技能人才的需求越来越大。为了适应新发展形势,促进我国制造业的转型升级,本书在编写过程中,以“注重实践,强化应用”为指导思想,突出职业能力培养,使教学内容与企业要求相一致,教学过程与生产过程相一致,教材内容与国家职业标准相一致。全书共分四个教学项目,通过相关知识和技能实训,将理论与实践相融合,能够充分发挥学生的创造潜能,提高学生解决实际问题的综合能力。

本书主要有以下两个特点:

(1) 通俗易懂,能够准确把握现有职业院校、技工学校、普通本科院校学生的知识水平和接受能力,知识结构科学合理,并采用大量的实物图片,内容由浅入深、循序渐进,学生易于接受。

(2) 实用性强,切实体现“淡化学科,精简理论”的特色。摒弃了烦琐的理论推导和计算,突出新技术、新设备、新工艺、新系统的操作与编程方法,以实际操作能力为核心。

本书适用于普通本科院校、职业院校、技工学校数控、机械、机电专业的教学,同时适用于高校金工实训的选修课,还可作为企业培训中、高级技术工人的参考书。

本书由衡水学院荀占超、赵艳珍,衡水科技工程学校田峰任主编,全书由荀占超负责统稿,安平县综合职业技术学校杨军、衡水学院工程技术学院荀骁、衡水市职业技术教育中心苏西井为副主编,内蒙古工业大学张楠、衡水学院宋振源和梁利军参加编写。具体编写分工为:荀占超编写项目二;赵艳珍编写项目一和附录;荀骁编写概述;田峰编写项目三;杨军、苏西井、张楠、宋振源、梁利军编写项目四。

本书在编写过程中得到了河北省国际教育交流协会、机械工业职业技能鉴定河北省实训基地、有关教育部门、学校领导、高级工程师王秀春、CAXA北京数码大方科技股份有限公司孙瑞等的大力支持,并对全书编写提出了宝贵意见和建议,在此一并表示衷心的感谢!

尽管我们在本书编写过程中做出了许多努力,但是由于编写水平有限,书中仍可能存在一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位和读者在使用本书时多提宝贵意见,以便修订时改进。

编 者

目 录

前言	
概述	1
一、数控车床的组成	1
二、数控车床的基础知识	6
三、数控车床的分类	9
四、数控车床坐标系	11
五、数控车床发展方向	14
项目一 数控车削加工工艺	17
第一部分 学习内容	17
一、数控车削加工工艺基础知识	17
二、数控车削刀具	27
第二部分 技能实例	36
一、数控车削加工工艺的制订	36
二、数控加工工艺文件的编写	39
项目二 广数 GSK980TD 系统编程与操作	42
第一部分 学习内容	42
一、操作规程	42
二、编程基本知识	45
三、编程实例	46
四、编程基本指令与格式	55
第二部分 技能操作	63
一、操作面板	63
二、编辑键盘	64
三、显示菜单说明	64
四、操作功能键	65
五、状态指示	66
六、上机操作	67
七、程序的输入与编辑	71
第三部分 技能实训	79
任务一 外轮廓与三角形螺纹	79
一、螺纹基本尺寸计算	80
二、螺纹的公差等级	80
三、螺纹的公差带	80

四、螺纹的加工	81
任务二 内、外轮廓加工	89
任务三 孔、轴、螺纹配合件	96
任务四 管螺纹的加工	105
任务五 梯形螺纹的加工	112
任务六 球形支座	121
任务七 宏程序	125
应会训练	132
项目三 FANUC 0i—Mate—TD 系统编程与操作	133
第一部分 学习内容	133
一、编程基础知识	133
二、编程实例	136
第二部分 技能操作	140
一、机床面板	140
二、编辑键盘	140
三、机床操作键	141
四、上机操作	143
第三部分 技能实训	149
任务一 过渡轴	149
任务二 手柄	156
任务三 偏心轴套	162
任务四 槽轮	168
任务五 带轮	172
任务六 管接头	177
任务七 梯形螺纹配合件	185
任务八 椭圆手柄	191
应会训练	197
项目四 CAXA 数控车 2013 自动编程	199
第一部分 学习内容	199
第二部分 技能实训	203
任务一 过渡轴的自动编程与加工	203
任务二 轴套的自动编程与加工	236
附录	253
附录 A 普通螺纹的基本尺寸（摘自 GB/T196—2003）	253
附录 B 55°密封管螺纹的基本尺寸（摘自 GB/T 7306—2000）	255
参考文献	256

概 述

数控车床是金属切削中使用最广泛的机床之一。数控车床具有技术含量高、自动化程度高、精度高的特点，在现代机械制造业中的作用非常重要；同时因为它是高投入设备，处于关键的生产岗位，所以提高数控车床的使用效率尤为重要。通过本课程的学习，可使数控车床工艺、编程和操作人员，熟练掌握数控车床的编程技术与操作技能，提高数控车床的使用效率和水平。

一般的数控车床除具备普通车床的基本加工功能（如车削内外圆柱面、端面、沟槽、内外圆锥、内外螺纹、圆弧、曲面等回转体零件）外，还能加工椭圆、抛物线曲面等，比普通车床的仿形加工精度高，并且使用方便、成本低廉、质量稳定，适用于多品种、中小批量产品的加工，对复杂、高精度零件更能显示其优越性。

一、数控车床的组成

数控车床由数控装置（CNC）、进给伺服（或步进）电动机驱动单元、伺服（或步进）电动机、主轴驱动系统、辅助控制装置、可编程序控制器（PLC）、检测反馈系统、自动换刀装置、自适应控制和车床机械部件等部分组成，如图 0-1 所示。

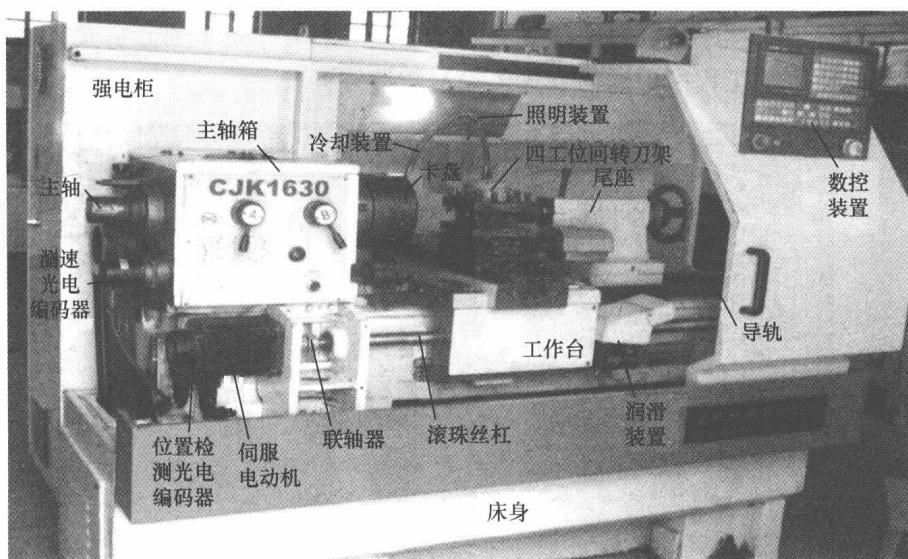


图 0-1 数控车床的组成

数控车床主要的三大部分为：车床主体、数控装置和伺服系统，如图 0-2 所示。



图 0-2 数控车床三大组成部分

数控车床的工作原理：根据加工工艺要求编写加工程序并输入数控装置，数控装置按加工程序向伺服电动机驱动单元发出运动控制指令，伺服电动机通过机械传动机构完成机床的进给运动，程序中的主轴起停、刀具选择、冷却、润滑等逻辑控制指令由数控装置传送给机床电气控制系统，由机床电气控制系统完成按钮、开关、指示灯、继电器、接触器等输入/输出元器件的控制，来完成零件的加工。运动控制和逻辑控制是数控车床的主要控制任务。数控装置同时具备运动控制和逻辑控制功能，可完成数控车的二轴运动控制。数控装置控制功能的软件分为 NC（系统软件）和 PLC 两个模块，数控模块完成显示、通信、编辑、译码、插补、加减速等控制，PLC 模块完成梯形图解释、执行和输入/输出处理。

1. 数控装置（CNC）

键盘和显示器（LCD）是数控设备必备的基本输入/输出装置，如图 0-3 所示。操作人员可通过键盘和显示器输入简单的加工程序，编辑修改、调试程序和进行加工操作，即进行手工数据输入（MDI）；显示器在程序校验时还能显示加工轨迹。现代数控车床，不用任何程序载体，即可将零件加工程序通过数控装置上的键盘，用手工方式（MDI 方式）输入，或者将由计算机自动编出的加工程序用通信方式传输给数控装置。



图 0-3 键盘和显示器

数控装置是数控车床的控制核心，目前绝大部分数控机床采用微型计算机控制。数控装置由软件和硬件组成，如果没有软件，计算机数控装置就无法工作；没有硬件，软件也无法运行。数控装置主要由运算器、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。

数控装置的作用是将输入装置输入的数据，通过内部的逻辑电路或控制软件进行编译、运算和处理，并输出各种信息和指令，用以控制数控车床的各部分进行规定的动作。

2. 伺服驱动系统

伺服驱动系统由伺服放大器（或称驱动器、伺服单元）和执行机构等组成。伺服驱动系统的作用是实现主运动和进给运动，把来自数控装置的位置控制指令和速度指令转变成车床工作部件的运动，使工作台按照规定轨迹移动或精确定位，加工出符合图样要求的零件。因为伺服驱动系统是数控装置和车床主体之间的联系环节，所以它必须把数控装置送来的微弱指令信号放大成驱动伺服电动机的大功率信号，来驱动工作台的运动，如图 0-4 所示。



图 0-4 伺服驱动系统

3. 主轴驱动系统

数控车床的主轴驱动系统和进给伺服驱动系统差别很大，主轴的运动是旋转运动，进给运动是直线运动。现代数控车床对主轴驱动提出了更高的要求，要求主轴具有较高的转速和较宽的无级调速范围；主传动电动机既能输出大功率；又要求主轴结构简单。同时数控车床的主轴驱动系统能在主轴的正反方向都可以实现转动和加减速。

4. 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、排屑装置等控制接口电路，其中电路含有的换向阀电磁铁、接触器等强电电器元器件。由于数控车床由可编程序控制器进行控制，所以辅助装置的控制电路变得十分简单。

5. 可编程序控制器（PLC）

现在一般都可将编程序控制器称为可编程序逻辑控制器(PLC)或可编程序机床控制器(PMC)。在数控车床上，PLC、PMC 具有完全相同的含义。它的作用是对数控车床进行辅助控制，把计算机送来的辅助控制指令，经可编程序控制器处理和辅助接口电路转换成强电信号，用来控制数控车床的顺序动作、定时计数、主轴电动机的起停、主轴转速调整、冷却泵起停

以及转位换刀等动作。PLC 本身可以接受实时控制信息，与数控装置共同完成对数控车床的控制。PLC 具有响应快、性能可靠、使用方便、编程和调试容易等特点，并可直接驱动部分机床电器，因此，被广泛用来作为数控车床的辅助控制装置。

数控车床上使用的 PLC 分成两种：一种是数控装置生产厂家为实现数控车床的顺序动作控制，而将 PLC 与数控装置一体化设计，称为内置式 PLC。另一种是相对独立的 PLC，称为外置式 PLC。

6. 检测反馈系统

检测反馈系统可以包括在伺服系统中，它由检测元件和相应的电路组成，主要作用是检测速度和位移，并将信息反馈到控制系统，构成闭环控制。无测量反馈装置的系统称为开环系统。常用的测量元器件有光电编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅、磁尺、激光检测。检测反馈系统包括位置反馈与速度反馈等，它们的作用是通过测量装置将车床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到数控装置中，使数控系统能随时判断车床的实际位置、速度是否与指令一致，并重新发出控制指令，修正所产生的误差，直到符合要求为止。测量装置安装在数控车床的工作台或丝杠上，相当于普通车床的刻度盘和人的眼睛。

目前数控车床多采用半闭环或闭环控制系统。数控车床常用的直线位移检测装置是长光栅、光电编码器，主要用于检测车床在纵横方向上的实际位移量。角位移检测装置有圆光栅、内装光电编码器，用于检测车床主轴或进给传动丝杠角位移。

7. 自适应控制

现代数控系统中，引进了自适应控制技术。自适应控制技术要求在随机变化的加工过程中，通过自动调节加工过程中测得的工作状态，按照给定的参数指标自动校正工作参数，以达到最佳的工作状态。自适应控制技术能根据切削条件的变化，自动调整并保持最佳切削状态，以达到较高的加工精度和较小的表面粗糙度，同时对刀具磨损、振动、速度、切削力进行自动检测并及时报警、自动补偿或更换刀具，从而提高刀具的使用寿命和生产效率。

数控车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，但是存在一些因素在编写程序时无法预测，如加工材料力学特性变化引起的切削力变化、加工现场温度变化等，这些随机变化的因素会影响数控车床的加工精度和生产效率。自适应控制技术的目的，就是试图把加工过程中的温度、转矩、振动、摩擦、切削力等因素的变化，与最佳参数比较，若有误差则及时补偿。达到提高加工精度或生产率的目的。目前自适应控制技术仅用于高效率 and 加工精度较高的数控车床，一般数控车床较少采用。

8. 数控车床主体

数控车床主体由床身、主轴箱、导轨、刀架、尾座、主传动系统、进给传动系统及辅助装置（如：液压、气动、润滑、冷却、排屑装置）等部件组成。

数控车床是高精度的自动化加工机床，与普通车床相比，具有更好的结构强度、刚度、抗振性，要求相对运动面的摩擦因数小、进给传动部分之间的间隙要小。设计要求比普通车床严格，要求制造精密，要求刚性强、热变形少、设计精度高。

（1）主轴箱 对于一般数控车床和自动换刀数控车床，由于主轴采用了无级变速和手动档+变频方式实现了分段无级变速，减少了机械变速装置，因此主轴箱的结构比普通车床简单。但主轴箱和主轴的材料要求较高，因此制造与装配精度比普通车床要求相应也会高一些。

(2) 导轨 导轨主要用来支撑与引导运动部件,使之沿一定的轨道运动。在导轨副中,运动的一方叫作动导轨,不运动的一方叫作支承导轨。导轨按运动轨迹分为直线运动导轨和圆周运动导轨。导轨是保证进给运动准确性的重要部件,在很大程度上影响车床的刚度、精度、低速进给时的平稳性,是影响零件加工质量的重要部件之一。

(3) 刀架 数控车床的刀架按照换刀形式的不同,分为排刀式刀架、回转式刀架、转塔式刀架、带刀库的自动换刀刀架。数控车床上使用的回转刀架是最简单的一种自动换刀装置,根据不同的加工对象,它可以设计成四刀位、六刀位、八刀位等多刀位的刀架。一般的数控车床上配置四刀位自动回转刀架,这类刀架具有动作灵活、重复定位精度高、夹紧力强等优点。在全功能数控车床、车削中心上大多配置多刀位转塔刀架、动力刀具。另外数控车床还有单刀架和双刀架之分。

排刀式刀架一般用于小规格的数控车床,因此更适合加工旋转直径较小的工件,较为常见的是以加工棒料为主的车床。排刀式刀架结构简单,可夹持各种不同用途的刀具的刀夹,沿着车床的 X 坐标轴方向排列在横向滑板上(或称为快换台板)。

回转式刀架一般常见在直径超过 $\phi 100\text{mm}$ 的数控车床上,这种数控车床大都采用电动机驱动的回转式四方刀架自动换刀装置。回转式四方刀架回转轴垂直于机床主轴,其功能与普通车床四方刀架一样,有四个刀位,可装夹四把不同功能的刀具。方刀架回转 90° ,刀具可交换一个刀位。并且刀架只能顺时针方向转动换刀,正转选刀,反转锁紧,方刀架的回转和刀位号的选择是由加工程序指令控制。

(4) 机械传动装置 数控车床的机械传动装置比普通车床简化很多,除部分主轴箱内的齿轮传动机构外,仅保留了纵、横进给的螺旋传动机构。机械传动装置可将伺服驱动电动机输出的旋转运动转换成工作台在纵、横方向上的直线运动。数控车床的进给传动链中,一般都采用滚珠丝杠螺母副,将旋转运动转换为直线运动,如图0-5所示。

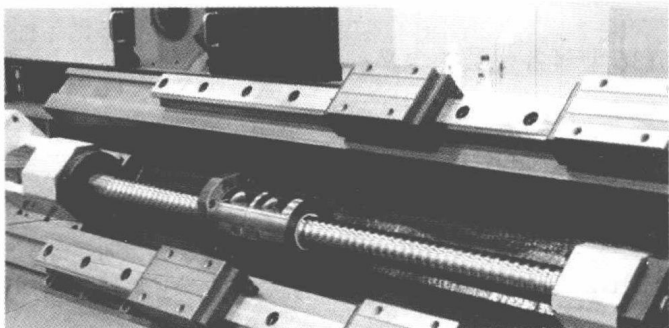


图 0-5 滚珠丝杠

滚珠丝杠螺母副的特点:

- 1) 丝杠、螺母上都有半圆弧形的螺旋槽,将它们装在一起便形成了滚珠的螺旋滚道,在丝杠、螺母之间装有滚珠作为传动元件。
- 2) 传动效率高,摩擦损失小。功率消耗只相当于常规丝杠螺母副的 $1/4\sim 1/3$ 。
- 3) 定位精度高,刚度好。适当预紧,可消除丝杠、螺母之间螺纹间隙,消除反向时空程死区。
- 4) 运动平稳,无爬行现象,传动精度高。

5) 磨损小, 使用寿命长。

6) 制造工艺复杂, 不能自锁。对于垂直丝杠(如数控立车、数控铣、加工中心), 由于自重的作用, 下降时若传动切断后, 数控车床不能立即停止运动, 故需添加制动装置。

7) 有可逆性, 可以从旋转运动转换为直线运动, 也可以从直线运动转换为旋转运动。

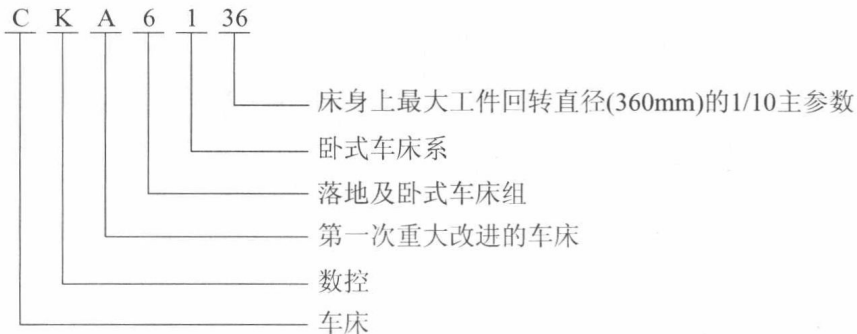
二、数控车床的基础知识

数字控制(Numerical Control)技术, 简称为数控(NC)技术, 是指用数字指令来控制机械的运动和加工过程的一种方法。采用数控技术的控制系统称为数控系统。采用存储程序的专用计算机来实现部分或全部基本数控功能的数控系统, 称为计算机数控(CNC)系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。图 0-6 是一台数控车床。



图 0-6 数控车床(广州数控系统 GSK980TD)

数控车床 CKA6136 型号各代号的含义:



如图 0-6 所示为广州数控系统 GSK980TD。各代号含义如下:



GSK980TD 是新一代普及型数控车床, 是 GSK980TA 的升级产品, 具有以下技术特点:

- 1) 采用了 32 位高性能 CPU 和超大规模可编程器件 FPGA, 运用实时多任务控制技术, 实现 μm 级精度运动控制和 PLC 逻辑控制。
- 2) X、Z 两轴联动、 μm 级插补精度, 最高速度为 16m/min。
- 3) 内置式 PLC, 可实现各种自动刀架、主轴自动换档控制, 梯形图可编辑、上传、下载, I/O 口可扩展。
- 4) 可车削米制、寸制单线、多线直螺纹、锥螺纹、端面螺纹、变螺距螺纹。
- 5) 支持数控系统与计算机、数控系统与数控系统间双向通信, 数控软件、PLC 程序可通信升级。

1. 数控车床的特点

数控车床是运用了计算机技术、微电子技术、自动控制技术、可编程序控制器 (PLC)、自动检测技术、精密机械制造技术、网络通信技术、液压气动技术、软件等高新技术, 是具有高精度、高自动化、高效率的典型机电一体化产品。

(1) 数控车床的优点 数控车床体现在工序集中、高速、高效、高精度以及使用方便, 可靠性高等方面上。简单工件可手工编程, 复杂工件可使用 CAD/CAM 软件自动编程, 具有计算机与数控机床的通信功能 (DNC)。

1) 对加工对象改型的适应性强。需要频繁改型的零件, 在数控车床上只需重新编制、输入程序就能实现对零件的加工。适合单件、多品种、小批量零件加工, 为新产品的试制提供了极大的方便。

2) 加工精度高。数控车床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差, 不受操作者的情绪影响, 同一批加工零件的尺寸一致性好, 产品合格率高, 加工质量稳定。

3) 加工生产效率高。数控车床通常不需要专用的夹具, 省去了夹具的设计和制造时间, 减少了辅助时间, 增加了机动时间, 提高了车床的利用率。数控车床能实现自动化加工, 可一人操作多台数控车床, 与普通车床相比可提高生产效率 2~3 倍。

4) 减轻操作者的劳动强度。在数控车床加工零件时, 因是提前编制好的程序自动加工完成的, 操作者不需要进行繁重的重复性手工操作, 大大减轻了劳动强度。

5) 可加工几何形状复杂的零件。数控车床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。

6) 适合加工贵重的、不允许报废的关键零件, 成品率高。如: 军工、航空航天的零部件, 材料较贵重如报废会造成浪费, 产生过高的成本。

7) 必须严格控制公差的零件。

8) 便于经济核算。数控车床加工零件时, 能准确地记录零件的加工时间和零件的加工件数, 便于生产成本的核算, 有利于生产管理的现代化。

(2) 数控车床的不足之处

1) 要求操作工人具有较高的技能水平。调试和维修较复杂, 要求调试和维修人员经过专门的技术培训。

2) 价格较贵, 投资大。

3) 外轮廓不规则的零部件, 如: 铸造件、锻造件, 难以装夹与找正的工件。

4) 必须用专用工具来调整加工的部位, 占机调整时间较长的零件, 经济效益较差。

- 5) 在一次装夹中完成很繁杂零件的加工, 与普通车床相比生产效率不明显。
- 6) 获取编程数据较难、易与检验依据发生矛盾, 编程难度大的工件。

2. 主要技术指标

(1) 主要规格尺寸 数控车床主要规格尺寸有床身上最大车削直径、刀架最大回转直径、最大车削长度等。如: 数控车床 CJK1630 的最大车削直径为 $\phi 300\text{mm}$, 刀架最大回转直径为 $\phi 180\text{mm}$, 最大车削长度为 550mm。数控车床 CKA6136 的最大车削直径为 $\phi 360\text{mm}$, 刀架最大回转直径为 $\phi 185\text{mm}$, 最大车削长度 600mm。数控车床由于受软件和硬件的限制, 最大车削长度与普通车床最大工件长度不同, 最大车削直径与普通车床最大回转直径也不同。

(2) 主轴系统 数控车床主轴采用交流电动机驱动, 具有较宽调速范围和较高回转精度, 主轴本身刚度与抗振性比较好。手动档或手动档加变频都达到 2000r/min 以上, 现在数控车床变频主轴普遍达到 5000~10000r/min, 甚至更高的转速, 对提高加工质量和各种小孔加工极为有利; 主轴可以通过操作面板上的转速倍率开关直接改变转速, 每档间隔 10%, 其调速范围 50%~120%, 八级实时调节。由于数控系统种类较多, 各制造厂家设定每档间隔各不相同, 在加工端面时主轴具有恒定切削速度。

(3) 进给系统 进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素, 最大进给速度为不加工时移动的最快速度, 一般最快速度 16~30m/min, 可选配。可通过操作面板上快速倍率开关调整, 每档间隔为 25%, 其调整范围进给速度 F0、25%、50%、100%四级实时调节, F0 是由参数设定的速度, 各轴通用。可通过操作面板上进给倍率开关调整, 切削进给速度最高为 8000~15000mm/min, 或 500 mm/r, 可选配, 每档间隔有 5%、10%, 其调整范围 F0~150%十六级实时调节。F0 是由参数设定的速度, 各轴通用。因系统不同, 不同的机床制造厂家设定每档间隔各不相同, 如: 发那科 FANUC 0i-Mate-TD, 西门子 SIEMENS802DT, 沈阳机床厂生产的操作面板倍率修调每档间隔不一样。

(4) 脉冲当量 脉冲当量是数控车床的重要精度指标之一, 是设计机床的原始数据之一, 如最小设定单位为 0.001mm, 是指控系统每发出一个脉冲, 机床运动机构就产生一个相应的位移量, 脉冲所对应的位移量称为脉冲当量。数控车床的加工精度和表面质量取决于脉冲当量数的大小。普通数控车床的脉冲当量一般为 0.001mm。精密或超精密数控车床的脉冲当量一般为 0.0001mm。脉冲当量越小, 数控车床的加工精度和表面质量越高。

(5) 分辨率 分辨率是指控制系统可以控制机床运动的最小位移量, 如: 最小移动单位为 0.001mm, 它是数控车床的一个重要技术指标, 一般在 0.0001~0.01mm, 视具体车床而定。受车床传动机构的影响, 分辨率往往低于脉冲当量, 为此脉冲当量不等于分辨率。

(6) 定位精度和重复定位精度 GB/T16462.4—2007 国家标准, 数控车床和车削中心检验条件对线性和回转轴线的定位精度及重复定位精度检验进行如下规定: 见表 0-1 线性轴的位置度, 见表 0-2 行程至 360° 回转轴线的位置度。

定位精度是指数控车床工作台或其他运动部位, 在一定长度内允许的误差, 实际运动位置与指令位置的一致程度, 其不一致的差量即为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统误差、检测系统误差、进给系统误差, 以及运动部件导轨的几何误差等。定位误差直接影响加工零件的尺寸精度。为了保证数控车床的加工精度, 一般要求定位精度为 0.001~0.01mm, 精密车床要求达到 0.0001mm。在理想的情况下定位精度等于分辨率, 由于受进给传动误差、加减速惯性、热变形、刚度、振动、摩擦等因素的影响, 定位精度往往低于分辨率。

表 0-1 线性轴的位置度

(单位: mm)

轴线行程至 2000				
检测项目	测量行程			
	≤500	>500 ≤800	>800 ≤1250	>1250 ≤2000
	公差			
双向定位精度 A	0.022	0.025	0.032	0.042
单向重复定位精度 $R \uparrow R \downarrow$	0.006	0.008	0.010	0.013
反向差值 B	0.010	0.010	0.012	0.012
单向系统定位偏差 $E \uparrow E \downarrow$	0.010	0.012	0.015	0.018
轴线行程超过 2000				
检测项目	公差			
反向差值 B	0.012+ (测量长度每增加 1000, 公差增加 0.003)			
单向系统定位偏差 $E \uparrow E \downarrow$	0.018+ (测量长度每增加 1000, 公差增加 0.004)			

表 0-2 行程至 360° 回转轴线的位置度公差

(单位: ")

检测项目	公差
双向定位精度 A	03
单行重复定位精度 $R \uparrow R \downarrow$	25
反向差值 B	25
单向系统定位偏差 $E \uparrow E \downarrow$	32

重复定位精度是指在相同操作方法和条件下, 完成规定操作次数过程中得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差, 会影响批量加工零件的一致性, 是一项非常重要的性能指标。普通数控车床的全程定位精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ /全程, 全程重复定位精度为 $\pm 0.006\text{mm}$ /全程。精密数控车床全程定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ /全程, 全程重复定位精度为 $\pm 0.002\text{mm}$ /全程。定位精度和重复定位精度一般由机床制造厂家制订, 且出厂检验标准一般都高于国家标准。

开环系统的进给精度主要取决于传动件的精度、伺服系统的分辨率等。闭环和半闭环系统中由于检测元件的反馈系统的作用, 使进给运动的定位精度和重复定位精度都大幅提高。

三、数控车床的分类

数控车床的分类方法较多, 但基本与普通车床的分类方法相类似。

1. 按车床主轴位置分类

(1) 立式数控车床 这类车床主轴垂直于水平面, 并有一个直径较大的工作台装夹工件, 主要用于加工直径尺寸大、轴向尺寸相对较小的零件。

(2) 卧式数控车床 卧式数控车床可分为水平导轨卧式数控车床和倾斜导轨卧式数控车床, 倾斜导轨结构使车床具有更大的刚性, 易于排屑。

数控车床还有单刀架和双刀架之分, 单主轴和双主轴之分, 总之数控车床可以分很多种类, 不再一一介绍。

2. 按功能水平分类

- (1) 一般数控车床
- (2) 全功能数控车床
- (3) 数控车削中心

3. 按控制方式分类

数控车床按照对被控量有无检测反馈装置可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环控制系统中,根据测量装置安装的位置不同又分为全闭环控制和半闭环控制。

(1) 开环控制数控车床 开环控制系统的数控车床没有位置检测反馈装置。如图 0-7 所示,数控装置将工件加工程序处理后,输出数字指令信号给伺服驱动系统,驱动进给机构运动,不检测实际运动位置,没有位置反馈信号。开环控制的伺服系统主要使用步进电动机作为执行元件,数控装置发出指令(进给)脉冲,经驱动电路放大后,驱动步进电动机转动,一个进给脉冲使步进电动机转动一个角度,由传动进给机构带动工作台移动一定距离。工作台的位移量与步进电动机转动角位移成正比,即与进给脉冲的数目成正比。改变进给脉冲的数目和频率,就可以控制工作台的位移量和速度。

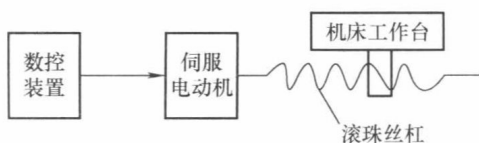


图 0-7 开环控制系统

受步进电动机的步距精度及传动机构的传动精度影响,开环系统的速度和精度较低。其特点是结构简单,维护方便,成本较低,加工精度不高。

(2) 半闭环控制数控车床 半闭环控制数控车床是将位置检测元器件安装在伺服电动机的端部,间接测量执行元件的实际位置或位移。半闭环控制系统如图 0-8 所示,它不是直接检测工作台的位移量,而是采用转角位移检测元件,如光电编码器,测出伺服电动机或丝杠的转角,推算出工作台的实际位移量,反馈到数控装置中进行位置比较,用比较的差值进行控制。由于反馈内没有包含工作台,故称半闭环控制。

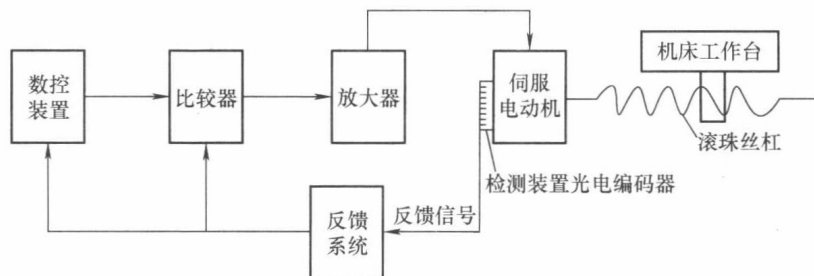


图 0-8 半闭环控制系统

半闭环控制精度比开环控制系统精度高,比闭环控制系统精度差,但稳定性好,成本较低,调试维修也较容易,兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点,因此应用比较普遍。

(3) 闭环控制数控车床 检测装置安装在工作台上的检测元件,如图 0-9 所示,将直接测出的工作台实际位移量反馈到数控装置,与所要求的位置指令进行比较,用比较的差值进行控制,直到差值为零。可见,闭环控制系统可以消除机械传动部件的各种误差和工件加工过程中产生的干扰的影响,从而使加工精度大大提高。速度检测元件的作用是将伺服电动机

的实际转速变换成电信号送到速度控制电路中，进行反馈校正，保证电动机转速恒定不变。常用速度检测元器件是测速发电机。

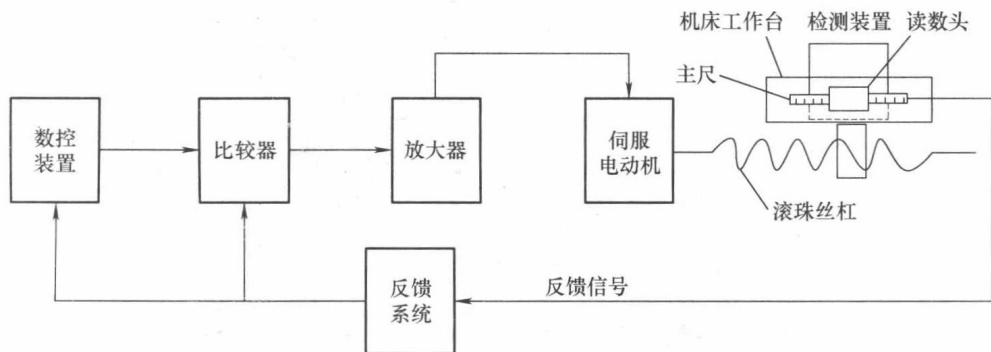


图 0-9 闭环控制系统

闭环控制的特点是加工精度高，移动速度快。这类数控车床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元器件，电动机的控制电路比较复杂，检测元件价格昂贵。因而调试和维修比较复杂，成本高。

4. 按可控制联动的坐标系分类

数控车床按照控制联动的坐标分类可分为两坐标联动、三坐标联动、两轴半坐标联动、多坐标联动。现代数控车床又采用了多主轴、多面体切削，同时对零件的不同部位进行加工，数控系统的控制轴数不断增加，同时联动的轴数已达 7 根，多坐标数控车床的结构复杂，精度要求高，编程复杂。

四、数控车床坐标系

为了便于编程时描述数控车床的运动，简化数控车床的编程方法，目前数控车床的坐标和运动的方向均已标准化。

1. 确定坐标系运动方向及命名原则

根据 GB/T 19660—2005 标准规定的命名原则。

(1) 假定刀具相对于静止工件而运动的原则 这一原则使编程人员能在不知道是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下，就可根据零件图样，确定车床的加工过程。

(2) 标准坐标（机床坐标）系的规定 标准坐标系是右手直角笛卡尔坐标系，在数控车床上，车床的动作是由数控装置来控制的，为了确定车床上的形成运动和辅助运动，必须先确定车床上运动的方向的距离，这就需要一个坐标系才能实现，这个坐标系称为车床坐标系。

(3) 运动方向的确定 刀具远离工件的运动方向为坐标的正方向，接近工件的运动方向为负方向。 X 轴坐标运动是水平的，它平行于工件装夹面，是刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。在有回转工件的数控卧式车床上， X 轴运动方向是径向的。 Z 轴坐标的运动由传递切削力的主轴所决定，与主轴轴线平行的标准坐标轴为 Z 坐标轴， Z 轴坐标是水平的。数控车床坐标系，如图 0-10 所示。