

数控车床 操作指南



SHUKONG CHECHUANG CAOZUO
ZHINAN

任东 主编



湖南科学技术出版社
Hunan science & technology press

数控车床 操作指南



SHUKONG CHECHUANG CAOZUO
ZHINAN

主 编 任 东

编 者 (按姓氏笔画排列)

刘瑞已 肖调生

主 审 彭跃湘



湖南科学技术出版社
Hunan science & technology press

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床操作指南 / 任东主编. —长沙: 湖南科学技术出版社, 2005. 11
ISBN 7-5357-4207-6

I. 数... II. 任... III. 数控机床: 车床—操作—指南 IV. TG519.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 129058 号

数控车床操作指南

主 编: 任 东

责任编辑: 徐 为 赵 龙

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 216 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-4375808

印 刷: 衡阳博艺印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 湖南省衡阳市黄茶岭光明路 21 号

邮 编: 421008

出版日期: 2005 年 11 月第 1 版第 1 次

开 本: 850mm×1168mm 1/32

印 张: 7

字 数: 195000

书 号: ISBN 7-5357-4207-6/TH·82

定 价: 16.00 元

(版权所有 · 翻印必究)

前 言

近年来,数控技术在机械制造业中得到了广泛的应用,发展十分迅速。数控技术的发展对数控工程技术人员和数控机床的操作与编程人员的需求越来越大。为了适应数控工作人员培训学习的需要,并供大专、中专、高职、技校、职校在校学生和自学人员学习现代加工技术之用,作者凭着从事 10 多年的工程实践和教学经验和体会,主编了《数控车床操作指南》这本书。

数控车削加工是机械加工中最主要的数控加工方法之一。本书围绕数控车床的设备、工艺、编程与操作等核心内容,全面、系统地介绍了数控系统与机械结构、车削加工的工艺分析、编程技术、数控车床的操作方法。既注重了知识的系统性,又突出了操作技能的实践性。在素材的组织上,突出了实用的特点,内容通俗易懂,有助于读者加深理解和自学。

全书分为八章。第一章介绍数控车床的基本组成及工作原理;第二章讲述数控机床机械结构;第三章扼要介绍了数控车床加工工艺、装夹和刀具的选用;第四章~第八章详细讲述数控车床的编程和操作。

本书由湖南工业职业技术学院任东主编。参加编写的有湖南科技职业技术学院肖调生,湖南工业职业技术学院刘瑞已。本书的编写还得到了湖南工业职业技术学院数控中心陈波技师、长沙双吉阀业有限公司许多同仁的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2005 年 5 月

目 录

第一章 数控车床基础知识	(1)
第一节 数控车床的组成	(1)
第二节 数控系统插补原理简介	(6)
第三节 数控车床的加工对象及分类	(7)
第二章 数控车床的机械结构	(10)
第一节 数控车床类型	(10)
第二节 数控车床的机械结构	(12)
第三章 数控车床加工工艺	(21)
第一节 数控车削加工工艺概述	(21)
第二节 数控车削加工工艺的步骤	(23)
第三节 数控车削加工定位与夹紧	(33)
第四节 数控车削常用刀具类型与选择原则	(39)
第四章 数控车床加工程序编制基础	(49)
第一节 数控车床编程概述	(49)
第二节 数控机床的坐标系与原点偏置	(51)
第三节 程序结构与功能指令	(60)
第五章 数控车床 FANUC 0i-TA 的编程	(68)
第一节 FANUC 0i-TA 基本编程指令	(68)
第二节 FANUC 0i-TA 车削固定循环与子程序	(76)
第三节 宏程序(参数编程)设计	(101)
第四节 刀具补偿应用	(110)
第五节 FANUC 0i-TA 综合编程举例	(114)
第六章 数控车床 FANUC 0i-TA 操作	(117)

第一节	数控系统与操作面板介绍·····	(117)
第二节	各种程序输入方式·····	(131)
第三节	对刀方式·····	(135)
第四节	程序校检与试运行·····	(140)
第七章	数控车床 SINUMERIK 802D 的编程 ·····	(142)
第一节	SINUMERIK 802D 基本编程 ·····	(142)
第二节	SINUMERIK 802D 车削固定循环与子程序 ·····	(154)
第三节	刀具补偿·····	(171)
第四节	SINUMERIK 802D 综合编程举例 ·····	(174)
第八章	数控车床 SINUMERIK 802D 操作 ·····	(178)
第一节	操作面板介绍·····	(178)
第二节	数控车床的操作方法及步骤·····	(184)
第九章	数控车床维护及故障诊断 ·····	(199)
第一节	数控车床维护与保养·····	(199)
第二节	数控车床故障诊断与处理·····	(203)
附录	·····	(214)

第一章 数控车床基础知识

数控车床是用计算机数控装置进行程序控制的高效自动化车床。普通车床以手工操作机床来完成各种切削加工，而数控车床是将编制好的加工程序输入到数控系统中，由数控系统控制车床 X、Z 坐标轴，再配以主轴的转速和转向，便能加工出各种形状不同的轴类或盘类回转体零件。适应多品种、小批量、结构复杂、加工精度要求较高、生产效率高的生产方式。

第一节 数控车床的组成

数控车床一般由数控系统、伺服系统和机械系统三大部分组成。

一、数控系统

1. 数控系统的组成

数控系统是由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程控制器 (PLC)、存储器等部分组成的计算机数控系统 (Computer Numerical Control System)，简称 CNC。从外部特征来看，CNC 系统是由硬件和软件两大部分组成的。

CNC 系统的主要功能包括：

- (1) 多坐标控制 (多轴联动) 同时控制数控机床的各坐标轴的进给运动。
- (2) 准备功能 (G 功能) 用来指定机床的运动方式。
- (3) 多种函数的插补 (直线、圆弧、抛物线及螺旋线插补等) 用于刀具进给运动轨迹插补。
- (4) 可编程偏置量设定 用于设置程序原点、刀具长度和刀具半

径补偿值。

(5) 代码转换 包括 EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、绝对值/增量值转换等。

数控加工程序代码常用的有两种，即 ISO 码和 EIA 码。ISO 代码是由国际标准化组织颁布的。EIA 代码是由美国电子工业协会颁布的。

(6) 固定循环功能 将一些典型的循环加工过程，预先编制好程序并存放在存储器中，用 G 代码进行指定，从而简化零件的加工编程。

(7) 进给功能 指定进给速度或进给率。

(8) 主轴功能 指定主轴转速。

(9) 辅助功能 规定主轴的起、停、转向，冷却泵的接通和断开等。

(10) 刀具功能 选择刀具和换刀。

(11) 各种补偿功能 包括刀具半径、刀具长度、传动间隙、螺距误差的补偿。

(12) 几何变换功能 包括比例缩放、旋转、平移、镜像变换等操作。

(13) 子程序功能 调用子程序，使编程灵活。

(14) 宏程序功能 通过编辑子程序中的变量来改变刀具路径与刀具位置。

(15) 字符图形等在屏幕上的显示 显示程序、各种参数、各种补偿值、坐标位置、故障信息、人机对话编程菜单、零件图形、动态刀具运动轨迹等。

(16) 故障的自诊断 设置各种诊断程序，防止故障的发生和扩大。

(17) 联网及通信 用于实现程序的传输。

(18) 人机对话 包括数据和程序的输入、编辑及修改。

2. 数控系统的工作过程

数控装置在硬件环境的支持下，按照系统监控软件的控制逻辑，

对输入、译码、刀具补偿、速度规划、插补运算、位置控制、I/O 接口处理、显示和诊断等进行控制。主要包括以下内容。

(1) 程序的输入 输入已编制的零件程序、控制参数和补偿量等数据。输入的形式有光电阅读机输入、键盘输入、磁盘输入、连接上级计算机接口的通信输入。

(2) 译码 是将零件程序以一个程序段为单位进行处理，把其中的各种零件轮廓信息（如起点、终点、直线或圆弧等）、加工速度信息（F 代码）和其他辅助信息（M、S、T 代码）按照一定的语法规则解释成计算机能够识别的数据形式，并以一定的数据格式存放在指定的内存。在译码过程中，还要完成对程序段的语法检查，若发现语法错误便立即报警。

(3) 刀具补偿 刀具补偿包括长度补偿和刀具半径补偿。通常为编程计算方便，程序以零件轮廓轨迹编程，刀具补偿作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹。

(4) 进给速度处理 编程所给的刀具移动速度是在各坐标的合成方向上的速度。速度处理是根据合成速度来计算各运动坐标轴的分速度，并对自动加减速进行处理。

(5) 插补运算 插补的任务是在一条给定起点和终点的曲线上进行“数据点的密化”。插补程序在每一个插补周期运行一次，在每个插补周期内，根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段。

(6) 位置控制 位置控制的任务是在每个采样周期内，将理论位置与实际反馈位置相比较，用其差值去控制伺服电机。

(7) I/O 处理 主要处理 CNC 装置面板开关信号、机床电气信号的输入、输出和控制（如换刀、换挡、冷却液开关等）。

(8) 显示 用于在屏幕上显示零件的程序、参数、刀具位置、机床状态、报警等。有的 CNC 装置还有刀具加工轨迹的静态和动态图形显示。

(9) 诊断 CNC 装置中设置了各种诊断程序，在故障出现后可迅速查明故障的类型及部位。

二、伺服系统

伺服系统包括位置控制单元、速度控制单元、执行电动机、测量反馈单元等部分。它接受计算机发来的各种动作指令，驱动执行电动机运动。

伺服系统可以分为开环伺服系统、闭环伺服系统和半闭环伺服系统。

1. 开环伺服系统

图 1-1 为开环伺服系统原理图。开环伺服系统的驱动电机一般使用步进电动机。每当数控系统发出一个脉冲信号指令，电动机旋转一个固定角度，工作台将移动一定距离。开环伺服系统既没有位移检测装置，又没有位置反馈装置和校正控制系统，工作台的位移精度完全取决于电动机的运动精度、齿轮副和丝杠螺母副的精度与间隙。所以这种系统很难保证较高的位置控制精度。这类机床较为经济，但加工速度低、加工精度较低。

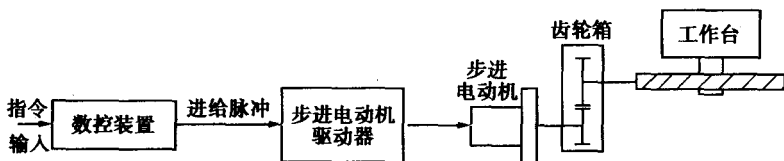


图 1-1 开环伺服系统

2. 闭环伺服系统

这类机床带有检测装置，直接对工作台的位移量进行检测，其原理如图 1-2 所示。当数控系统发出位移指令脉冲，经电动机和机械传动装置使机床工作台移动时，安装在工作台上的位置检测器把机械位移转换成电信号，反馈到输入端与输入信号进行比较，得到的差值经过放大和变换，最后驱动工作台向减少误差的方向移动，直到差值等于零为止。该系统由于把机床工作台纳入了位置控制环，可以消除包括工作台传动链在内的运动误差，因而定位精度高、调节速度快。伺服驱动电机采用宽调速交流伺服电动机。由于闭环伺服系统复杂、

成本高，故适用于精度要求很高的数控机床。

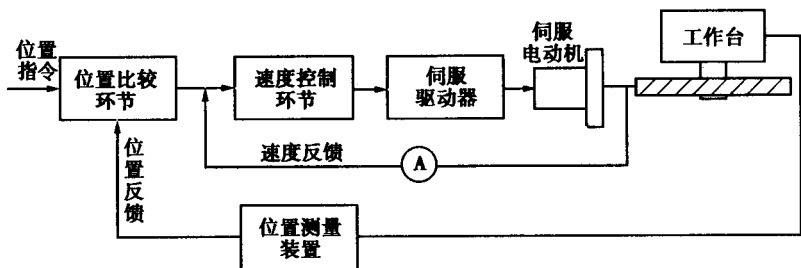


图 1-2 闭环伺服系统

3. 半闭环伺服系统

大多数数控机床采用半闭环伺服系统，这类系统在进给伺服电机轴端安装角位移测量元件，用来测量电动机轴的旋转角位移，其原理如图 1-3 所示。因该系统未将丝杠螺母副、齿轮传动副等传动装置包含在闭环反馈系统中。因而称之为半闭环控制系统。它不能补偿传动装置的传动误差，但却获得稳定的控制特性。其精度没有闭环高，调试比闭环方便。

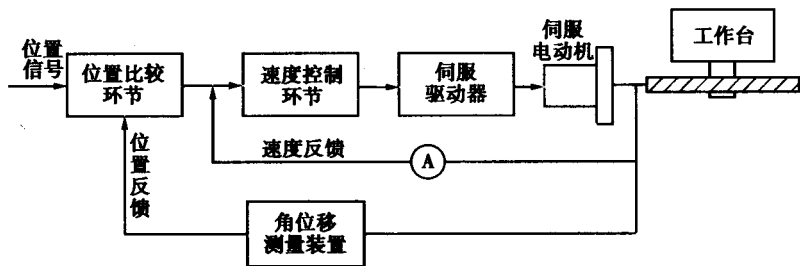


图 1-3 半闭环伺服系统

三、机械系统

数控机床的机械部件包括主传动系统、进给传动系统及辅助装置。与传统的机床相比，数控机床的结构强度、刚度和抗震性，传动

系统与刀具系统的部件结构，操作机构等方面都已发生了很大的变化。数控车床的机械系统，除机床基础部件外，由下列各部分组成：

- (1) 主轴部件 包括主轴电动机和主轴传动系统。
- (2) 进给系统 包括进给执行电动机和进给传动系统。
- (3) 实现工件回转、定位的装置和附件。
- (4) 实现某些部件动作和辅助功能的系统和装置 如液压、气动、润滑、冷却等系统和排屑、防护等装置。
- (5) 刀架和自动换刀装置。

第二节 数控系统插补原理简介

数控编程提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹，而刀具怎么从起点沿着运动轨迹走向终点则由数控系统的插补装置或插补软件来控制。在实际应用中，常常采用一小段直线或圆弧去逼近曲线，即通常所说的直线和圆弧插补。

插补的任务就是要根据进给速度的要求，完成在轮廓起点和终点之间的中间点的坐标值计算。目前普遍应用的插补算法分为两大类。

(1) 脉冲增量插补法 脉冲增量插补法适用于以步进电动机为驱动装置的开环数控系统，这类插补算法的特点是每次插补的结果仅产生一个行程增量，以一个个脉冲的方式输出给步进电动机。脉冲增量插补的实现方法简单，通常仅用加法和移位就可完成插补。数控系统一般用软件来完成这类算法。

(2) 数据采样插补法 适用于闭环和半闭环以直流或交流伺服电动机为执行机构的数控系统。这种方法是将加工一段直线或圆弧的时间划分为若干相等的插补周期。每经过一个插补周期就进行一次插补运算，算出在该插补周期内各坐标轴的进给量，边计算，边加工，若干次插补周期后完成一个曲线段的加工，即从曲线段的起点走到终点。

与脉冲增量插补法不同，采用数据采样插补时，根据加工直线或圆弧段的进给速度 v ，计算出每一个插补周期内的插补进给量，即步

长。例如假定数控系统的插补周期为 $t=0.1\text{ms}$ ，进给速度为 $v=10000\text{mm/min}$ ，则插补步长为 $dl=\frac{vt}{60\times 10000}=0.017\text{mm}$ 。对于曲线插补，插补步长越短，插补精度越高。在一个插补周期内，不仅要完成基本的插补运算，而且一般来说还要留出约 $3/4$ 个插补周期进行后续程序段的插补预处理计算和完成其他数控功能，因此在计算机 CPU 的处理速度不变的情况下，缩短插补周期的空间是有限的。

第三节 数控车床的加工对象及分类

一、数控车床的加工对象

数控车床是用来加工轴类或盘类的回转体零件，能自动完成内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、端面、螺纹等工序的切削加工。

1. 数控车床加工的优势及特点

(1) 可以加工具有复杂形状的轴类或盘类零件 数控车床的刀具运动轨迹是由加工程序决定的，因此只要能编制出程序，无论工件型面多么复杂都能加工。对于计算复杂的型面还可采用自动编程软件进行编程。

(2) 加工精度高，尺寸一致性好 数控车床本身的精度都比较高，一般数控车床的定位精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。在加工过程中机床自动运行，工件的加工精度由机床保证，消除了操作者的人为误差。

(3) 生产效率高 数控车床的主轴转速、进给速度和快速定位速度高，通过合理选择切削参数，充分发挥刀具的切削性能，减少切削时间，不仅能保证高精度，而且加工过程稳定。不需要在加工过程中进行中间测量，就能连续完成整个加工过程，减少了辅助动作时间和停机时间。

(4) 可以减轻工人的劳动强度，实现一人多机床操作 数控车床加工出第一个合格工件后，工人只需进行工件的装卡和启动机床。现

在的数控车床可靠性高, 保护功能齐全, 并且数控系统有自诊断和自动停机功能, 因此能实现一人多机操作。

(5) 经济效益明显 经济效益不仅表现在生产效率高, 加工质量好, 废品少上, 还具有减少工装数量, 缩短生产周期, 缩短新产品试制周期等优势。

2. 数控车床的适用范围

根据数控车床的加工特点可以看出, 最适合于数控车床加工的零件包括:

- ①多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件;
- ②几何形状复杂的零件;
- ③加工过程中必须进行多工序加工的零件;
- ④用普通车床加工时, 需要工装较多的零件;
- ⑤必须严格控制公差, 对精度要求高的零件;
- ⑥工艺设计需多次改型的零件;
- ⑦价格昂贵, 加工中不允许报废的关键零件;
- ⑧需要最短生产周期的零件。

数控车床和普通车床都有各自的应用范围, 如图 1-4 所示。图中横轴是工件的复杂程度, 纵轴是每批的生产件数。由图可以看出数控车床的使用范围。

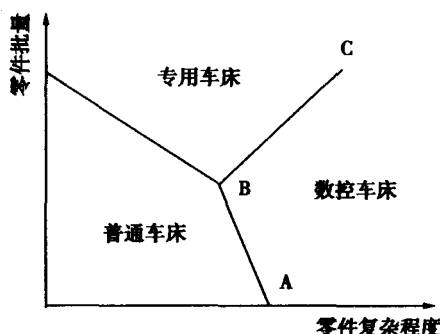


图 1-4 各种机床的使用范围

图 1-5 所示为各种机床上加工零件时的批量和综合费用。

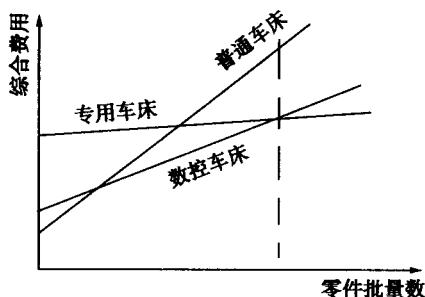


图 1-5 各种机床的加工批量与综合费用关系

二、数控车床的分类

1. 按数控系统的功能分类

(1) 经济型数控车床 采用步进电动机和单片机对普通车床进给系统进行改造后形成的简易型数控车床，成本较低，但自动化程度和功能都比较差，车削加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

(2) 全功能数控车床 一般采用闭环或半闭环控制系统，具有高刚度、高精度和高效率等特点。

2. 按主轴配置形式分类

(1) 卧式数控车床 主轴轴线处于水平位置。

(2) 立式数控车床 主轴轴线处于垂直位置。

(3) 双轴卧式（立式）数控车床 机床具有两根主轴。

3. 按加工零件的基本类型分类

(1) 卡盘式数控车床 这类车床没有尾座，适用于车削盘类零件。其夹紧方式多为电动或液压控制，卡盘结构大多具有卡爪。

(2) 顶尖式数控车床 这类车床设有普通尾座，适合加工较长的轴类零件及直径不大的盘类、套类零件。

(3) 专用数控车床 如螺纹数控车床、活塞数控车床、曲轴数控车床等。

第二章 数控车床的机械结构

第一节 数控车床类型

数控车床有立式数控车床和卧式数控车床两种类型。立式数控车床用于回转直径较大的盘类零件的车削加工。卧式数控车床用于轴向尺寸较长或小型盘类零件的车削加工。相对于立式数控车床来说，卧式数控车床的结构形式较多、加工功能丰富、使用面广。

数控车床按功能可分为普通数控车床和车削加工中心。

(1) 普通数控车床 根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床，数控系统功能强，自动化程度和加工精度也比较高，适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴，即 X 轴和 Z 轴。

(2) 车削加工中心 在普通数控车床的基础上，增加了 C 轴和动力头刀架，更高级的机床还带有刀库，可控制 X 、 Z 和 C 三个坐标轴，联动控制轴可以是 $(X、Z)$ 、 $(X、C)$ 或 $(Z、C)$ 。由于增加了 C 轴和铣削动力头，这种数控车床的加工功能大大增强，除可以进行一般车削外，还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削等加工。如图 2-1 所示数控车削中心 C 轴加工能力简图。

一、数控车床机械结构组成

典型数控车床机械系统（如图 2-2 所示），包括主轴传动机构、进给传动机构、刀架、床身、辅助装置（刀具自动交换机构、润滑与切削液装置、排屑装置）等部分。

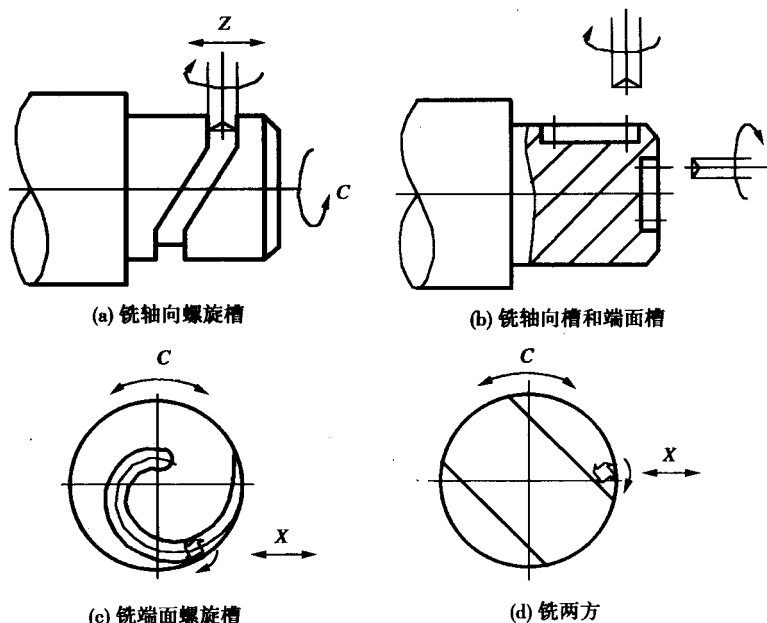


图 2-1 数控车削中心 C 轴加工能力简图

典型数控车床机械传动系统如图 2-3 所示。主运动由功率为 11/15kW 的 AC 伺服电动机驱动，经 1 : 1 带传动直接带动主轴旋转，使主轴在变速范围内实现无级调速，主轴箱内无齿轮传动变速机构，减少了齿轮传动误差。X 轴、Z 轴的进给运动分别由 0.9kW、1.8kW 电机，经 20/24、24/30 的同步带轮传动到滚珠丝杠上，其上螺母带动刀架及滑板移动，完成进给运动。

二、数控车床的结构特点

与普通车床相比，数控车床结构特点包括下面几个方面。

(1) 采用了高性能的主轴部件 具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。

(2) 进给伺服传动采用高性能传动件 具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。