



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业教育数控专业规划教材

数控车床加工工艺 与编程操作

Shukong Chechuang Jiagong Gongyi
Yu Biancheng Caozuo

任国兴 主 编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业教育数控专业规划教材

数控车床加工工艺与编程操作

主 编 任国兴
副主编 郎一平 王青云
参 编 黄美英 梅玉龙
主 审 沈华良



机械工业出版社

本书分为基础篇和实训篇两部分。基础篇分为三章,第一章为数控车床概述,讲述了数控车床的结构、性能特点、主要部件等,让读者对数控车床结构有一个大体框架的了解。第二章为数控车床加工工艺,从图样分析、坐标系建立、数值运算、工艺分析、编程加工等方面介绍数控加工工艺的内容,让读者理解如何进行数控加工工艺分析和加工工艺设计。第三章为数控编程基础,详细介绍了数控编程指令的用法、实例等。实训篇分为十三个课题,从相关知识、实例、工艺分析、参考程序、注意事项等方面进行讲解或提示,由易到难,结合实例,列出 HNC—21T、FANUC 0i、SINUMERIK 802C/S 等系统在机床通过后的参考程序。

本书内容深入浅出,内容丰富,详简得当,既注重内容的先进性,又有实用性,有理论又有实例,是一本实用性很强的教材。

本书可作为数控技术应用专业、数控机床加工专业、机电一体化专业的中等职业教育教材,也可用作从事数控车床工作的工程技术人员的参考书、数控车床短期培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床加工工艺与编程操作/任国兴主编. —北京:机械工业出版社, 2006.4 (2007.2 重印)

教育部职业教育与成人教育司推荐教材. 中等职业教育数控专业规划教材

ISBN 978-7-111-18653-3

I. 数... II. 任... III. ①数控机床: 车床—加工工艺—专业学校—教材 ②数控机床: 车床—程序设计—专业学校—教材 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 018013 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 汪光灿 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007 年 2 月第 1 版第 2 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 387 千字

5 001—10 000 册

标准书号: ISBN 978-7 111 18653 3

定价: 21.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话 (010) 68326294

购书热线电话 (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话 (010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部数控技术应用专业技能型紧缺人才培养方案的指导思想和最新的数控技术应用专业教学计划编写的。数控车床已经在许多加工企业得到了广泛应用，为了适应社会和市场的需求，作者在多年教学实践的基础上，以培养和提高学生在数控加工过程中的工艺分析能力以及实际加工编程的操作技能为目标进行编写。

以突出操作技能为主导，在分析加工工艺的基础上应用多种实例是本书的特点，比较详细地介绍了采用国内外主流数控系统的数控车床编程与加工操作。编写时力求表述简洁易懂，步骤清晰明了，便于初学者学习使用。

本书由江苏省徐州机电工程高等职业学校任国兴主编。参加本书编写的有长春机械工业学校郎一平、徐州机电工程高等职业学校黄美英、湖北省机械工业学校王青云、贵州省机械工业学校梅玉龙等老师。浙江省科技工程学校沈华良主审了这本教材，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心感谢。

由于编者的水平和经验所限，书中难免有欠妥和错误之处，恳请读者批评指正。

目 录

前言

基 础 篇

第一章 数控车床概述	1
第一节 数控车床组成与工作原理	1
第二节 数控车床及其坐标系统	4
第三节 数控车床加工技术	8
复习思考题	10
第二章 数控车床加工工艺	11
第一节 数控车床加工工艺概述	11
第二节 图样分析	19
第三节 编程坐标系与数值计算	22
第四节 加工路线的选择与优化	25
第五节 刀具选用与工件装夹	29
第六节 加工工艺文件的编制	33
复习思考题	36
第三章 数控车床编程基础	39
第一节 概述	39
第二节 数控车床编程指令	45
第三节 数控车床编程实例	94
复习思考题	119

实 训 篇

课题一 数控车床的基本操作	120
第一节 华中系统面板与手动操作简介	120
第二节 FANUC Oi 系统面板操作与手动操作简介	127
第三节 SIEMENS 802C/S 系统面板操作与手动操作简介	130
复习思考题	134

课题二 数控车床的对刀与找正操作	135
第一节 数控车床对刀的相关知识	135
第二节 采用工件坐标系设定方式对刀	136
第三节 采用工件坐标系 (G54 ~ G59) 选择方式对刀	137
第四节 采用刀具补偿参数 T 功能对刀	139
复习思考题	143

课题三 外圆、端面和台阶的编程与加工操作	145
第一节 数控加工切削用量及轴类的相关知识	145
第二节 实例	146
复习思考题	150

课题四 外锥形面的编程与加工操作	151
第一节 车削外圆锥面零件的相关知识	151
第二节 车外圆锥面	152
第三节 车倒锥与双头圆锥面	153
复习思考题	156

课题五 车槽与车断编程与加工操作	158
第一节 车槽类零件的相关知识	158
第二节 车槽	159
第三节 车断	161
第四节 车端面槽	162
复习思考题	162

课题六 外成形面编程与加工操作	164
第一节 车削外成形面零件的相关知识	164
第二节 外圆弧成形面	165
第三节 圆球面加工	167
第四节 其他成形面	169

复习思考题	171	第二节 内套的车削	204
课题七 普通螺纹编程与加工操作	173	第三节 内台阶的车削	206
第一节 车削普通三角形螺纹零件的相关知 识	173	第四节 内圆锥的车削	208
第二节 外三角螺纹及多线螺纹	174	第五节 内球的车削	209
第三节 外锥螺纹切削	177	第六节 内槽的车削	212
复习思考题	179	第七节 车内螺纹	215
课题八 梯形、矩形螺纹编程与加工 操作	181	复习思考题	217
第一节 车削梯形、矩形螺纹零件的相关 知识	181	课题十一 内外轮廓集一体的典型零件 加工与操作	219
第二节 梯形螺纹编程与加工操作	182	第一节 车削内外轮廓集一体零件的相关知 识	219
第三节 矩形螺纹编程与加工操作	186	第二节 综合加工实例(1)	220
复习思考题	189	第三节 综合加工实例(2)	222
课题九 外形轮廓综合训练	191	第四节 综合加工实例(3)	224
第一节 车削综合零件的相关知识	191	复习思考题	226
第二节 综合加工实例(1)	192	课题十二 工艺文件的编制使用与综合 考核	230
第三节 综合加工实例(2)	195	第一节 数控加工工艺文件的相关知识	230
第四节 综合加工实例(3)	197	第二节 组合对配零件一加工工艺文件	231
复习思考题	200	第三节 组合对配零件二加工工艺文件	233
课题十 内套、内腔编程与加工操作 ...	203	第四节 综合考核作业	234
第一节 车削内套、内腔类零件的相关知 识	203	课题十三 数控车床故障诊断及排除 ...	240
		参考文献	245

基础篇

第一章 数控车床概述

【学习目的】

初步掌握数控车床的基本结构和原理知识，对加工不同产品选择不同规格的数控车床有一个明确的概念。

【学习重点】

掌握数控车床的坐标系的应用，明确数控加工过程。

第一节 数控车床组成与工作原理

把对机床的各种控制、操作要求、动作尺寸等，都用数字和文字编码的形式表示出来，再通过信息载体（如穿孔纸带、磁盘等）送给专用电子计算机或数控装置，经过计算机的变

换处理,发出各种指令,控制机床按照人们预先要求的操作顺序依次动作,自动地进行加工的车床就是数控车床。

在数控车床上加工零件时,要先根据零件图样的要求,确定零件加工的工艺过程、工艺参数和使用刀具的参数,按规定编程格式要求编写成数控加工程序,将编制好的数控程序输入到数控装置中去,数控装置经过分析和数据处理后输出控制信号,信号通过伺服系统转换放大,驱动车床上的运动部件运动,从而控制数控车床进行零件的自动加工。

一、数控车床组成

数控车床主要由程序输入装置、数控系统、伺服系统、位置检测反馈装置和机床运动部件组成,如图 1-1 所示。

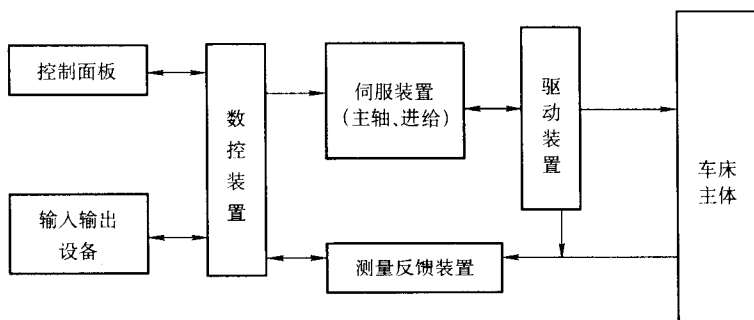


图 1-1 数控车床原理图

1. 输入装置

数控程序编制后需要存储在一定的介质上,控制介质就是由穿孔带或磁盘等存储数控程序的介质。按目前的控制介质大致分为纸介质和电磁介质,相应地通过不同方法输入到数控装置中去。

纸带输入方法,即在专用的纸带上穿孔,用不同孔的位置组成数控代码,再通过纸带阅读器将代表不同含义的信息读入。穿孔纸带使用 ISO 和 EIA 两种标准信息代码,数控机床能自动识别。

手动输入是将数控程序通过数控机床上的键盘输入,程序内容将存储在数控系统的存储器内,使用时可以随时调用。数控程序的产生由计算机编程软件或手工输入到计算机中,也可采用机床与计算机通信方式来传递数控程序到数控系统中。通信接口一般有 RS232C 串行口、485 口、RJ45 口等。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,一般由输入装置、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置是数控车床的核心部分,它将接受到的数控程序,经过编译、数学运算和逻辑处理后,输出各种信号到输出接口上。

3. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号,转换成机床移动部件的运动。接收数控装置输出的各种信号,经过分配、放大、转换等功能,驱动各运动部件,完成零件的切削加工。

4. 位置检测反馈装置

位置检测、速度反馈装置根据系统要求不断测定运动部件的位置或速度，转换成电信号传输到数控装置中，数控装置将接受的信号与目标信号进行比较、运算，对驱动系统不断进行补偿控制，保证运动部件的运动精度。

5. 车床运动部件

机床的作用和通用机床相同，只是操作由数控系统去自动地完成全部工作，由伺服器驱动伺服电动机带动部件运动，完成工件与刀具之间的相对运动。

二、数控车床工作过程

如图 1-2 所示，数控车床工作大致分为下面几个步骤：

1) 根据零件图要求的加工技术内容，进行数值计算、工艺处理和程序设计。

2) 将数控程序按数控车床规定的程序格式编制出来，并以代码的形式完整记录在存储介质上，通过输入（手工、计算机传输等）方式，将加工程序的内容输送到数控装置。

3) 由数控系统接收来的数控程序（NC 代码），NC 代码是由编程人员在 CAM 软件上生成或手工编制的，它是一个文本数据，表达比较直观，较容易地被编程人员直接理解，但却无法为硬件直接使用。数控装置将 NC 代码“翻译”为机器码，机器码是一种由 0 和 1 组成的二进制文件，再转换为控制 X、Z 等方向运动的电脉冲信号，以及其他辅助处理信号，以脉冲信号的形式向数控装置的输出端口发出，要求伺服系统进行执行。

4) 根据 X、Z 等运动方向的电脉冲信号由伺服系统处理并驱动机床的运动机构（主轴电动机、进给电动机等）动作，使车床自动完成相应零件的加工。

三、数控车床的特点与应用

与卧式车床加工相比，数控车床加工具有如下特点：

(1) 自动化程度高 在数控车床上加工零件时，除了手工装卸零件外，全部加工过程都可由数控车床自动完成，大大地减轻了操作者的劳动强度，改善了劳动条件。

(2) 具有加工复杂形状能力 用手工难以控制尺寸的零件，如外形轮廓为椭圆、内腔为成形面的零件，有些复杂零件加工质量直接影响整体新产品的性能，数控车床任意控制其完成卧式车床难以加工的复杂型面的加工。

(3) 加工精度高，质量稳定 数控车床是按照编制好的加工程序进行工作的，加工过程很少有人参与或调整，因此成熟的数控程序在运行中不受操作者的技术水平或者情绪的影响，加工精度稳定。

(4) 生产效率高 因为数控车床自动化程度高，具有自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，而且工序较为集中。同时在加工中可采用较大的切削用量，有效地减少了加工中的切削时间，大大地提高了劳动生产率，缩短了生产周期。

(5) 不足之处主要表现 要求操作者技术水平高，数控车床价格高，加工成本高，技术复杂，对加工编程要求高，加工中难以调整，维修困难等。

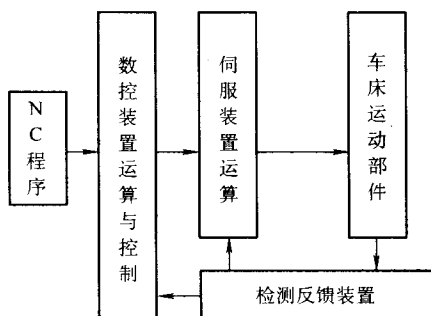


图 1-2 数控车床的工作过程

数控车床加工适用范围主要如下：

- 1) 形状复杂、加工精度要求高，特别是较为复杂的回转曲线等方面的零件。
- 2) 产品更换频繁、生产周期要求短的场所。
- 3) 小批量生产的零件。
- 4) 价值较高的零件等。

第二节 数控车床及其坐标系统

一、数控车床的结构与分类

数控车床按分类方式，如按安装方式、工艺处理方式、结构特点、伺服类型，经济特征等，可分为不同类型的数控车床。

1) 数控车床工件安装方式分为卧式数控车床、立式数控车床和立卧两用数控车床，立式数控车床卡盘轴线垂直于水平面，以加工盘类零件为主，如针对汽车及零配件行业加工制动鼓、制动盘、轮体、轮箍、调速箱，传动齿轮、卡环，滑轮等盘类零件，如图 1-3a 所示；卧式数控车床，卡盘轴线与水平面平行，主要加工较长轴类的零件，用途较为广泛，如图 1-3b 所示。

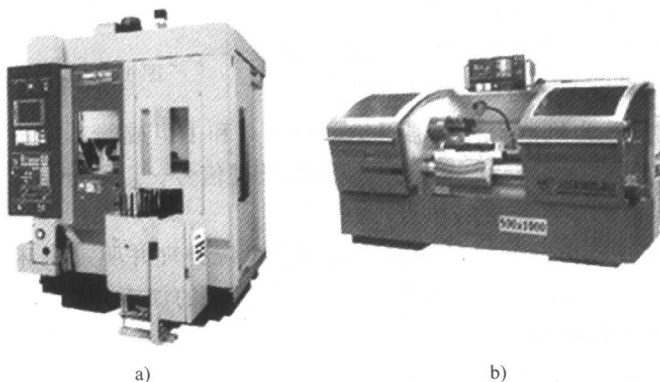


图 1-3 数控车床

a) 立式数控车床 b) 卧式数控车床

2) 按系统伺服方式可分为开环、闭环和半闭环数控车床等。

开环控制系统：采用步进电动机作为驱动部件，没有位置和速度反馈器件，所以控制简单，价格低廉，但它们的负载能力小，位置控制精度较差，进给速度较低，主要用于经济型数控装置。

半闭环和闭环位置控制系统：采用直流或交流伺服电动机作为驱动部件，可以采用内装在电动机内的脉冲编码器、旋转变压器作为位置/速度检测器件来构成半闭环位置控制系统，也可以采用直接安装在工作台的光栅或感应同步器作为位置检测器件，来构成高精度的全闭环位置控制系统。

由于螺距误差的存在，半闭环系统位置检测器反馈的丝杠旋转角度变化量还不能精确地反映进给轴的直线运动位置，但经过数控系统对螺距误差的补偿后，它们也能达到相当高的

位置控制精度。与全闭环系统相比,它们的价格较低,安装在电动机内部的位置反馈器件的密封性好,工作更加稳定可靠,几乎无需维修,所以广泛地应用于各种类型的数控机床。

直流伺服电动机的控制比较简单,价格也较低,其主要缺点是电动机内部具有机械换向装置,电刷容易磨损,维修工作量大。交流伺服电动机是无刷结构,几乎不需维修,体积相对较小,有利于转速和功率的提高,目前已在很大范围内取代了直流伺服电动机。

3) 按数控车床结构上的特点可分为不同类型的数控机床等。

① 按主轴速度控制方式分为变频主轴、分级控制主轴和伺服主轴的数控车床等。变频主轴控制速度的数控车床,其主轴速度是无级调速的,但主轴转矩小,为解决这个问题,在主轴箱内设置几个变速挡,每个挡内调速,保证各自转矩需求。伺服主轴用伺服电动机直接驱动,既保证了无级调速,又保证了转矩的要求。

② 按卡盘夹紧形式分为手动卡盘、电动卡盘、液压卡盘等形式的数控车床。

③ 按床身结构形式分为平床身、斜床身的数控车床。

④ 按尾座结构分为普通尾座、液压尾座、可编程尾座等的数控车床。

⑤ 按刀架位置形式分为前置和后置式,前置式刀架安装在工件与操作者之间,后置式刀架安装在工件和操作者之外,一般采用较为特殊的机架底座,如斜床身机床。按刀架形式分为四工位、六工位等;按刀架运动形式可分为转塔式、排刀式等,如图 1-4 所示。

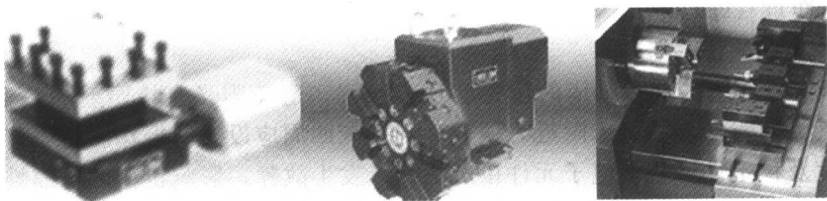


图 1-4 刀架

4) 按数控车床的综合性能分为经济型、普及型和高档数控车床(全机能数控车床、车削中心等),不同数控类型的数控车床,因为其性能与结构不同,价格也不同。经济型数控车床从性能、数控系统、伺服结构等方面配置都是比较低的,价格便宜;而高档的数控车床控制要求高,加工精度高,如配置 FANUC 16i、SIEMENS 840D 以上数控系统、闭环伺服系统等车削中心,刀架配置动力头,有自动对刀装置、可编程尾座等,能完成车、铣、钻、铰等功能,自动化程度高,但价格较昂贵,如图 1-5 所示。

二、数控车床主要的技术参数

1) 床身上最大工件回转直径 (mm): 允许工件的最大直径。

2) 滑板上最大工件回转直径 (mm): 可加工的工件直径。

3) 最大工件长度 (mm): 允许工件的长度,如 750mm、1000mm。

4) 最大加工长度 (mm): 可加工的工件长度,如 500 (750 规格)、810 (1000 规格)。

5) 横向最大行程 (mm): X 向刀架能移动



图 1-5 车削中心

的范围。

6) 纵向最大行程 (mm): Z 向刀架能移动的范围。

7) 主轴转速范围 (r/min): 允许主轴转速, 如 50 ~ 4000 r/min。

8) 主轴通孔直径 (mm): 允许通过主轴孔的工件的最大直径。

9) 主电动机功率 (kW): 主轴电动机额定功率。

10) 刀位数、换刀时间及刀架最大回转直径: 如 CK 6140 数控车床的四工位刀架, 刀架回转直径 160mm。

11) 尾座套筒最大行程、锥孔锥度、套筒直径。

12) 最小控制精度 (或脉冲当量): 如 X 轴 0.005, Z 轴 0.01。

13) 定位精度、重复定位精度 (mm): 定位精度是指刀具实际位置与理想位置的一致性, 如 Z 向 $\leq 0.01/300$ mm、X 向 $\leq 0.01/300$ mm。重复定位精度是指在同一台机床上用相同程序加工一批零件得到连续结果的一致程度, 如 Z 向 $\leq \pm 0.005$ mm、X 向 $\leq \pm 0.005$ mm。

14) 快进速度 (mm/min): 如 10000 mm/min。

15) 数控系统: 如 FANUC Oi-Mate、安川 J50L、西门子 802C/S、华中世纪星 HNC—21T 及广州 980T 等满足用户要求的数控系统。

16) 机床外形尺寸 (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) (mm)。

17) 机床净重 (kg)。

三、数控车床的使用条件

(1) 机床位置环境要求 机床的位置应远离振源, 避免阳光直接照射和热辐射的影响, 避免潮湿和气流的影响。如机床附近有振源, 则机床四周应设置防振沟。否则将直接影响机床的加工精度及稳定性, 将使电子元件接触不良, 发生故障, 影响机床的可靠性。

(2) 电源要求 一般数控车床安装在机加工车间, 不仅环境温度变化大, 使用条件差, 而且各种机电设备多, 致使电网波动大。因此, 安装数控车床的位置, 电源电压波动必须在允许范围内, 并且保持相对稳定, 否则会影响数控系统的正常工作。

(3) 温度条件 数控车床的环境温度应低于 30℃, 相对湿度小于 80%。一般来说, 数控电控箱内部设有排风扇或冷风机, 以保持电子元件, 特别是中央处理器工作温度恒定或温度差变化很小。过高的温度和湿度将导致控制系统元件寿命降低, 并导致故障增多。温度和湿度的增高, 灰尘增多会在集成电路板产生粘结, 并导致短路。

(4) 按说明书的规定使用机床 用户在使用机床时, 不允许随意改变控制系统内制造厂设定的参数。这些参数的设定直接关系到机床各部件动态特征, 只有间隙补偿参数数值可根据实际情况予以调整。

用户不能随意更换机床附件, 如使用超出说明书规定的液压卡盘, 盲目更换造成各项环节参数的不匹配, 甚至造成估计不到的事故。使用液压卡盘、液压刀架、液压尾座、液压缸的压力, 都应在许用应力范围内, 不允许任意提高。

四、影响数控车床加工精度的因素

加工精度系指零件加工后, 其实际几何参数 (尺寸、形状和位置) 与理想几何参数符合的程度。数控车床是用车削刀具在工件上加工旋转表面的机床, 加工范围较广, 主要有车外圆、车端面、车槽、钻孔、镗孔、车锥面、车螺纹、车成形面、钻中心孔及滚花等。一般车床的加工精度可达 IT10 ~ IT7, 表面粗糙度 R_a 值可达 1.6 μm 。

尺寸精度是指零件表面本身的尺寸精度和表面间相互距离尺寸的精度。尺寸公差是允许尺寸的变动量,它等于最大极限尺寸减去最小极限尺寸之差,或上偏差减去下偏差之差。

数控车床精度检验分为几何精度的检验和工作精度的检验。几何精度是指机床在不运转时,部件之间相互位置精度和主要零件的形状精度、位置精度。对于通用机床国家已规定其检验标准。工作精度是机床在动态条件下,对工件进行加工时所反映出来的机床精度。影响机床工作精度的主要因素为机床的变形和振动。

金属切削机床试验是为检验机床的制造质量、加工性质和生产能力而进行的试验,主要进行空转试验和负荷试验。

1) 机床的空转试验是在无载荷状态下运转机床,检验各机构的运转状态、温度变化、功率消耗以及操纵机构动作的灵活性、平稳性、可靠性和安全性。

2) 机床的负荷试验是用以试验机床最大承载能力。

五、数控车床坐标轴与运动方向

为简化编程和保证程序的通用性,对数控机床的坐标轴和方向命名制订了统一的标准,规定直线进给坐标轴,用 X 、 Y 、 Z 表示基本坐标轴,其相互关系用右手定则决定。

1. 数控车床坐标轴和方向命名原则

1) 机床坐标系符合右手直角笛卡儿坐标定义原则,如图 1-6 所示。

2) 数控车床的 Z 坐标轴规定为传递切削动力的主轴轴线方向; X 坐标轴规定为水平方向, X 坐标的方向是在工件的径向上,且平行于横向滑板。规定远离卡盘中心方向为正方向。

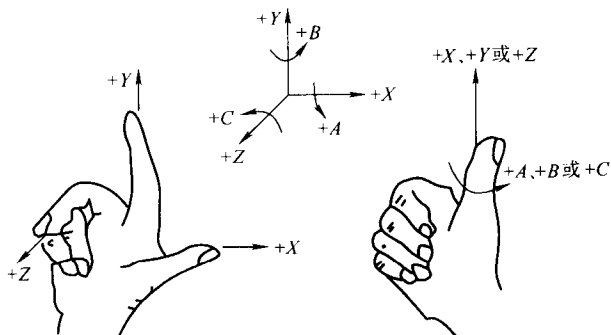


图 1-6 直角笛卡儿坐标系

2. 数控车床坐标系的确定与应用

1) 先确定 Z 轴, Z 轴是传递切削动力的主要轴,然后再确定其 X 轴。

2) 数控车床坐标系的原点一般定义在卡盘中心轴线与中间端面交点,如图 1-7 所示。

六、数控车床坐标系

1. 数控车床坐标系

数控车床生产厂家按照笛卡尔规则,在数控车床上建立一个 Z 轴与 X 轴的直角坐标系,称为机床坐标系。机床坐标系的零点称为机床原点,是机床上的一个固定点,一般定义在主轴旋转中心线与车头端面的交点或参考点上。

数控系统上电时并不知道机床坐标系的零点在什么位置,为了正确地在机床工作时建立机床坐标系,通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点,数控车床启动后进行机动或手动回参考点(称为“回零”),以建立机床坐标系。

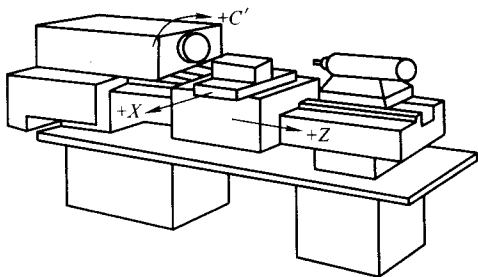


图 1-7 数控车床坐标系的建立

参考点为机床上一固定点,由 X 向与 Z 向的机械挡块或系统定义的位置来确定,一般设定在 X 、 Z 轴正向最大位置,位置的设定由制造商定义。当进行回参考点的操作时,装在纵向和横向滑板上的行程开关,碰到挡块后,向数控系统发出信号,由系统控制滑板停止运动,完成回参考点的操作,由此建立了数控车床 X 、 Z 轴向的直角坐标系。

参考点是机床制造商在机床上用行程开关设置或系统参数定义的一个物理位置,与机床原点的相对位置是固定的,机床参考点可以与机床零点重合,也可以不重合,通过参数指定机床参考点到机床原点的距离。

机床坐标系不能直接用来供用户编程,它是帮助机床生产厂家确定机床参考点(零点)的。机床参考点由厂家设定后,用户不得随意改变,否则影响机床的精度。

2. 编程坐标系

编程坐标系是人为设定的坐标系,通过分析符合图样尺寸便于计算,又要便于编程。一般先找出图样上加工基准的要求,在满足工艺和精度要求下,确定编程原点。编程人员选择工件图样上的某一已知点为原点(也称程序原点),建立一个新的坐标系,称为编程坐标系。

3. 工件坐标系

编程坐标系只是在图样上建立,数控车床系统并不认识编程者设定的坐标系,那么通过操作者通过对刀等方式将编程坐标系的原点移到数控车床上,此时在数控车床上建立的坐标系称为工件坐标系,其原点一般选择在轴线与工件右端面、左端面或其他位置的交点上,工件坐标系的 Z 轴一般与主轴轴线重合。工件坐标系一旦建立便一直有效,直到被新的工件坐标系所取代。

对刀的目的是确定程序原点在机床坐标系中的位置,将编程坐标系原点转换成机床坐标系的已知点并成为工件坐标系的原点,这个点就称为对刀点。对刀点可与程序原点重合,也可在任何便于对刀之处。

对刀时,可以用 $G92$ 指令或用 $G54 \sim G59$ 指令等方式建立工件坐标系。

起刀点是零件程序加工的起始点,其位置的设定通常以换刀时刀架不受干涉和最接近工件的距离的位置为依据。

在零件车削过程中需要自动换刀,为此必须设置一个换刀点,该点应离开工件有一定距离,以防止刀架回转换刀时刀具与工件发生碰撞。换刀点通常分为两种类型,即固定换刀点和自定义换刀点。

选择起刀点、换刀点的位置通常要注意:①方便数学计算和简化编程;②容易找正对刀;③便于加工检查;④引起的加工误差小;⑤不要与机床、工件发生碰撞;⑥方便拆卸工件;⑦空行程不要太长。

第三节 数控车床加工技术

数控机床是按照事先编制好的数控程序自动地对工件进行加工的高效自动化设备。理想的数控程序不仅应该保证能加工出符合图样要求的合格工件,还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥,以使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

在程序编制以前,编程人员应了解所用机床的规格、性能、数控系统所具备的功能及编程格式等。编制程序时,需要先对零件图样规定的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进

行分析,确定加工方法和加工路线,再进行数值计算,获得刀具中心运动轨迹的位置数据。然后,按数控机床规定采用的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开关等)编制成数控加工程序。在大部分情况下,要将加工程序记录在加工程序控制介质上。常见的控制介质有磁盘、磁带、穿孔带等。通过控制介质将零件加工程序输入数控系统,由数控系统控制机床自动地进行加工。

因此,数控机床的程序编制主要包括分析零件图样、工艺处理、数学处理、编写程序单、制作控制介质及程序校验等。

一、数控车床加工过程

(1) 分析零件图样和工艺处理 根据图样对零件的几何形状尺寸、技术要求进行分析,明确加工的内容及要求,决定加工方案,确定加工顺序,设计夹具,选择刀具,确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。同时还应发挥数控系统的功能和数控机床本身的能力,正确选择对刀点、切入方式,尽量减少诸如换刀、转位等辅助时间。

(2) 数学处理 编程前,根据零件的几何特征,先建立一个工件坐标系,根据零件图样的要求,制定加工路,在建立的工件坐标系上,首先计算出刀具的运动轨迹。对于形状比较简单的零件(如直线和圆弧组成的零件),只需计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值。

(3) 编写零件程序清单 加工路线和工艺参数确定以后,根据数控系统规定的指定代码及程序段格式,编写零件程序清单。

(4) 程序输入 即将编制好的格式文件输入到数控车床中去。

(5) 程序校验与首件试切 在数控车床上对程序进行验证程序是否能在系统中通过,并在机床上进行试切加工,完成工艺方面的调整。

二、数控车床编程方法

数控车床编程根据问题复杂程度的不同,数控加工程序可以通过手工编程和自动编程。

手工编程是指从零件图样的分析、工艺处理、数值计算、加工方案、编制程序和程序检验等都是由人工来完成,它要求编程人员不仅要熟悉数控机床的性能、数控指令及编程规则,而且要具备数控车床加工工艺和计算能力。目前,手工编程是一种普遍的编程方法,也是学习数控编程的一个基本要求,它广泛用于零件轮廓不太复杂、工作量不是很大的场合。

自动编程是借助于计算机或数控系统提供的编程软件辅助程序完成数控程序的一种编程方法,编程人员只需借助软件提供的各种功能对加工零件的几何参数、工艺参数和加工过程进行描述后,由计算机自动完成程序编制的全过程,因此自动编程解决了手工编程难以解决的复杂零件的编程问题,减轻了编程人员的劳动强度,又提高了效率和准确性,在数控加工中应用日益广泛。自动编程辅助软件如 MasterCAM、UG、Pro/E、CAXA 等,这些软件对零件造型后,设置各项参数,通过软件后置处理生成数控加工程序,传输到数控车床后就可加工零件了。

三、数控加工技术的发展

数控机床非常适合那些形状复杂、精密和批量小的零件加工,而一般的普通机床根本无法满足这个要求,就连仿形机床和组合机床也解决不了高精度与小批量这个矛盾。因此,数控加工非常适合航空航天、电力、交通和电子等制造业的零件加工技术。

零件加工面临的一个主要问题是产品的高精度、多样性和批量小的矛盾。这就要求从机床到数控都需要柔性,数控系统由于采用软件控制,具有了很大的柔性。现代的数控机床其突出的优点是可以进行高精度加工和多样化加工,完全可以取代其他的加工方法,由于数控机床是按照预定的程序自动加工,加工过程不需要人工干预,加工精度还可以通过软件进行校正及补偿,因此可以提高零件的加工精度,稳定产品的质量。特别对于多品种、少批量的零件更是如此。

另外,采用数控机床可以提高生产率,一般可以提高生产效率2~3倍,对于某些复杂零件的加工精度,生产率可提高10几倍,甚至更高。一些数控机床,具有多工序、自动换刀装置,因此可以实现一机多用,不但提高了生产效率,也能节省厂房面积。

数控机床的指标中最重要的是可靠性,一般采用平均无故障时间(MTBF单位为小时),采用故障率(Failure rate单位为次/月·台)。数控机床的无故障时间一般为500h,这就要求数控系统的无故障时间大于它。现在国内数控系统的无故障时间可以达到5 000~10 000h,甚至更高,国外为10 000h以上,如FANUC公司的FS-O系统的故障率为0.008次/月·台,相当于无故障时间为90 000h。

数控机床功能强大与否要看数控系统的指令值范围是否满足机床的需要,如最小输入增量、最小指令增量、最大编程尺寸、最大快移速度、进给率范围等,分辨率与快速运动的速度以及加工速度范围是数控系统的基本指标。

日益增多的复杂形状零件和高精、高效的加工对数控编程技术提出了越来越高的要求。CAM技术的发展在数控加工中得到了广泛的应用,对于制造业,尤其是对于模具加工业来说,就是要在保证模具加工精度的前提下,充分利用数控机床的性能,提高加工效率,缩短加工时间,保证产品及时上市。在现代社会生产领域中,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助分析(CAE)、计算机辅助质量管理(CAQ)以及将它们有机集成起来的计算机集成制造系统(CIMS)已经成为企业科技进步和实现现代化的标志。

制造是产品生产的基本环节,制造业的发展水平影响了产品制造的品质和效率,制造设备的数控化是现代制造业的基本标志。如何发挥数控设备,特别是提高数控加工设备的效率是摆在制造业面前的一个重要课题。

复习思考题

- 1-1 数控车床应用有哪些特点?
- 1-2 数控车床由哪些部分组成?数控装置的作用是什么?
- 1-3 数控车床坐标系是如何建立的?
- 1-4 什么是机床零点?机床坐标系、编程坐标系与工件坐标系之间的联系是什么?
- 1-5 简述对刀点、换刀点和工件坐标原点?
- 1-6 什么是程序编制?程序编制的方法有几种?

第二章

数控车床加工工艺

【学习目的】

了解数控车床加工工艺的特点及主要内容，掌握数控车床加工工艺编制方法，确定加工路线、工艺参数、编程坐标原点及工件的装夹方法；掌握刀具的选用、编程尺寸及基点坐标的计算；学会编制数控车床加工工艺文件。

【学习重点】

加工路线、工艺参数、编程原点及工件装夹方法的确定，编程尺寸与基点坐标的计算。

第一节 数控车床加工工艺概述

数控车床加工工艺是采用数控车床加工各种回转体零件时所运用各种方法和技术手段的总和，应用于整个数控车床加工工艺过程。它是伴随着数控车床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术，它是人们大量数控车床加工实践的经验总结。

数控车床加工工艺过程是利用车刀在数控车床上直接改变零件的形状、尺寸、表面位置、表面状态等，使其成为成品或半成品的过程。

一、数控车床加工工艺特点

由于数控车床加工具有加工自动化程度高、精度高、质量稳定、生产效率高、设备使用