



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定



首届全国机械行业职业教育优秀教材

数控车削技术训练

主 编 高龙军

数控车削技术训练



主
编
高
龙
军

SHUKONG CHEXIAO JISHU XUNLIAN

北京出版集团公司
北京出版社

北京出版集团公司
北京出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控车削技术训练 / 高龙军主编. — 北京 : 北京出版社, 2015.3 (2022 重印)

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-200-11402-7

I. ①数… II. ①高… III. ①数控机床—车床—车削—职业教育—教学参考资料 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 118408 号

数控车削技术训练

SHUKONG CHEXIAO JISHU XUNLIAN

主 编: 高龙军

出 版: 北京出版集团公司

北 京 出 版 社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总发行: 北京出版集团公司

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版 次: 2015 年 3 月第 1 版 2022 年 9 月修订 2022 年 10 月第 3 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 13.5

字 数: 224 千字

书 号: ISBN 978-7-200-11402-7

定 价: 35.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

单元一 数控车床基础知识	1
工作任务 1 数控车床的组成结构、工作原理及加工范围	2
工作任务 2 数控车床加工工艺、加工路线及加工刀具的选择	7
工作任务 3 数控车床的编程方法及编程坐标系	11
工作任务 4 数控车床程序组成及编程指令	18
单元二 数控车削编程指令	26
工作任务 1 G00、G01 编程指令	27
工作任务 2 G02、G03 编程指令	33
工作任务 3 G90——轮廓车削固定循环编程指令	42
工作任务 4 G71、G70——轮廓车削复合循环编程指令	49
工作任务 5 G73、G70——轮廓车削固定形状复合循环编程指令	57
工作任务 6 G75——切槽循环编程指令	63
工作任务 7 G92、G76——螺纹车削循环编程指令	68
工作任务 8 M98、M99——子程序调用循环编程指令	77
工作任务 9 G40、G41、G42——刀尖半径补偿编程指令	82
工作任务 10 变量编程——宏程序指令应用	89
单元三 数控车床操作、编程与仿真加工	97
工作任务 1 FANUC 0i mate 系列数控车床控制面板	98
工作任务 2 FANUC 0i mate 系列数控车床操作面板及基本操作	103
工作任务 3 数控车削仿真软件编程与模拟加工	110
单元四 数控车削中级考工典型考题实例	145
工作任务 1 数控车削中级考工训练课题（一）	146
工作任务 2 数控车削中级考工训练课题（二）	152

单元五 数控车削技能大赛与企业典型产品实例	161
工作任务 1 数控车削技能大赛考核实例	162
工作任务 2 企业典型产品“小轴承盖”加工实例	177
附录	186
附录一 数控车削中级考工训练习题	186
附录二 数控车床安全操作规程及日常维护	202
参考答案	204

北京出版社

单元一

数控车床基础知识

数控车床是一种高精度、高效率的自动化机床。数控车床配备多工位刀塔或动力刀塔，具有广泛的加工工艺性能。可加工直线圆柱、斜线圆柱、圆弧和各种螺纹、槽、蜗杆等复杂工件，同时具有直线插补、圆弧插补各种补偿功能，并在复杂零件的批量生产中发挥了良好的经济效用。

科学技术的发展，导致产品更新换代的加快和人们需求的多样化，产品的生产也趋向种类多样化、批量中小型化，运用数控车床加工也是市场经济的发展需求。通过本单元数控车床基础知识的学习，为后续的数控编程与加工奠定一定的基础。

工作任务1

数控车床的组成结构、工作原理及加工范围

任务描述 >>

数控车床是数字控制车床的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床，如图 1-1-1、图 1-1-2 所示。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序，并将其译码，从而使机床动作并加工零件。数控车床由输入、输出装置、数控装置、可编程控制器、伺服系统、检测反馈装置和机床主机等组成。



图 1-1-1 数控车床



图 1-1-2 数控车削中心

任务目标 >>

- 1. 了解数控车床的基本组成；
- 2. 熟悉数控装置各部分的主要部件及功用；
- 3. 理解数控车床加工的工作原理；
- 4. 了解数控车床的加工范围。

任务实施 >>

- 1. 场所：数控车间，设备：CKA6150 数控车床；
- 2. 了解数控车床的各部分功能部件；
- 3. 示范操作数控车床，了解工作过程；
- 4. 观摩零件，了解数控车床加工范围。

任务评价 >>

序号	评价项目	分值	评价标准	评价得分
1	机床本体的组成	15	说出机床本体的组成部件	
2	数控系统的组成	20	写出数控系统各部分功能	
3	驱动装置组成	15	写出驱动装置的部件	

续表

序号	评价项目	分值	评价标准	评价得分
4	辅助装置组成	15	写出辅助装置的部件	
5	数控加工原理示意图	15	画出示意图	
6	数控车削加工零件特点	20	写出数控车削加工范围	

知识链接 >>

1. 数控车床的基本组成

数控车床一般由以下几个部分组成，如图 1-1-3 所示。

(1) 机床主体；(2) 数控系统；(3) 驱动系统；(4) 辅助装置。

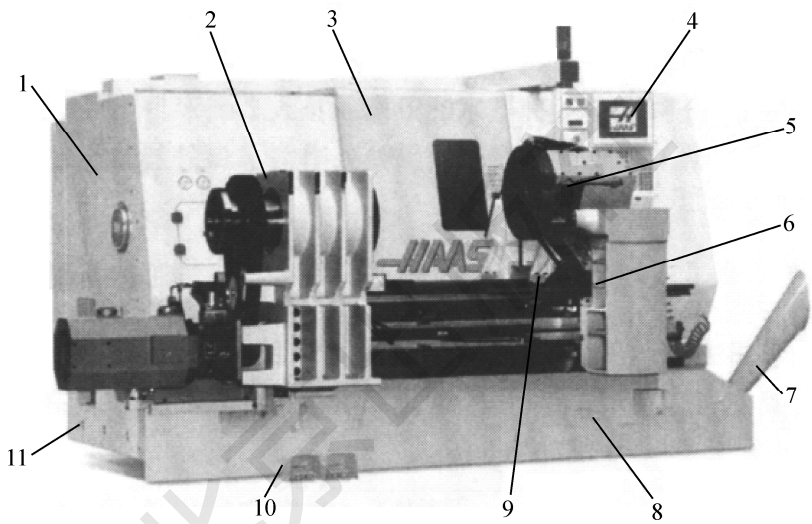
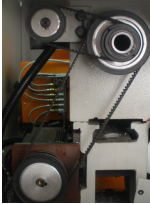
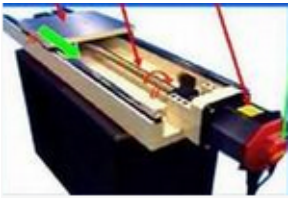


图 1-1-3 数控车床的组成

1—电气箱；2—主轴箱；3—机床防护门；4—操作面板；5—回转刀架；6—尾座；
7—排屑器；8—冷却液箱；9—滑板；10—卡盘踏板开关；11—床身

机 床 主 体	主 轴 箱	 通过主轴电机带动主轴及卡盘转动  卡盘用来装夹工件，带动工件转动
------------------	-------------	---

续表

机床主体	进给机构	 通过 X 或 Z 轴进给电机带动滚珠丝杠的旋转，刀架实现纵向移动、横向移动来实现切削
	尾座	 尾座可装夹顶尖、钻花。装夹较长工件时，可用顶尖顶住，保证工件的同心度。也可以用来装夹钻花，进行中心孔钻削加工
	床身	机床上用于支承和连接若干部件，并带有导轨的基础零件
数控系统	数控装置	 数控车床的核心部分，数字控制装置，实现机床的操作，程序的输入。
	输入和输出	程序的输入和输出
	系统软件	处理和编译程序，控制机床的运动
驱动系统	驱动器	 进给轴电机的驱动装置
	步进电机	进给轴运动的执行装置

续表

辅助装置	换刀装置	 多工序工件加工，刀具的自动转换
	润滑装置	 为机床导轨、丝杠润滑
	切削液装置	 冷却，润滑，防锈

2. 数控车床加工原理

根据零件图样，进行工艺分析，确定工艺方案，依据数控系统的规定指令，编制零件的加工程序，再通过车床控制系统上的通信接口或其他存储介质（软盘、光盘等），把生成的加工程序输入到车床的控制系统中。进入数控装置的信息，经过一系列处理和运算转变成脉冲信号。有的信号输送到机床的伺服系统，通过伺服机构处理，传到驱动装置（主轴电机、步进或交、直流伺服电机），使刀具和工件严格执行零件加工程序所规定的运动；有的信号送到可编程控制器，用以控制机床的其他辅助运动，如主轴和进给运动的变速、液压或气动装夹工件、冷却液开关等。数控车床加工零件的过程如图 1-1-4 所示。

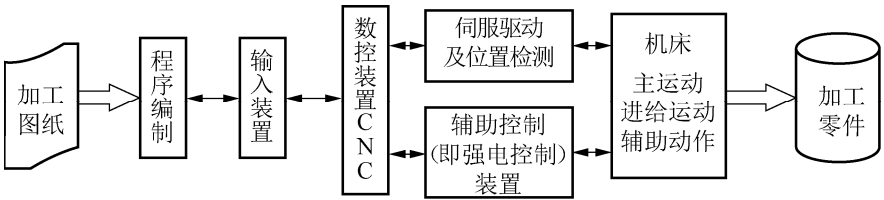


图 1-1-4 数控车床加工零件的过程

3. 数控车床加工优势及加工范围

数控车床是目前使用最广泛的车床之一。数控车床除了可以完成普通车床能够加工

的轴类和盘套类零件外，还可以加工各种形状复杂的回转体零件，如复杂曲面；还可以加工各种螺距甚至变螺距的螺纹。此外，数控车削中心还可以在在一次装夹中完成更多的加工工序，包括钻、铣、攻螺纹等。

在数控车床上加工的零件，可以是普通零件，但更多的零件是普通机床加工起来具有一定的难度或对操作人员的技术水平有相当高的要求。一般在数控车床上加工的零件有如下的特点：

- (1) 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件、短期急需的零件。
- (2) 轮廓形状复杂，对加工精度要求较高的零件。
- (3) 用普通机床加工较困难或无法加工（需昂贵的工艺装备）的零件。
- (4) 价值昂贵，加工中不允许报废的关键零件。

数控车床是高精度、高效率的加工母机，一般应用于精度较高、批量生产的零件；各种形状复杂的轴类和盘套类零件。如图 1-1-5 所示为数控车床加工的产品示例。



图 1-1-5 数控车床加工的产品

任务拓展 >>

1. 数控车床 CKA6150 含义说明

CKA6150

C——车床；

K——数控；

A——改型；

6——卧式车床系；

1——落地及卧式车床组；

50——床身上最大工件回转直径的 1/10。

2. 高新技术机床，数控车床发展趋势

数控车床总的发展趋势是：高精化、高速化、高效化、柔性化、智能化和集成化，并注重工艺实用性和经济性。

(1) 高速加工技术发展迅速

高速加工技术发展迅速，在高档数控车床中得到广泛应用。在刀具材料和结构的支持下，从单一的刀具切削高速加工，发展到机床加工全面高速化，如数控车床主轴的转速从每分钟几千转发展到几万转、几十万转；快速移动速度从每分钟十几米发展到几十

米和超过百米；换刀时间从十几秒下降到 10 秒、3 秒、1 秒以下，换刀速度加快了几倍到十几倍。应用高速加工技术达到缩短切削时间和辅助时间，从而实现加工制造的高质量和高效率。

（2）精密加工技术有所突破

通过机床结构优化、制造和装配的精化，数控系统和伺服控制的精密化，高精度功能部件的采用和温度、振动误差补偿技术的应用等，目前，精密数控车床的重复定位精度可以达到 $1\mu\text{m}$ ，进入亚微米超精加工时代。

（3）技术集成和技术复合趋势明显

技术集成和技术复合是数控车床技术最活跃的发展趋势之一，如工序复合型——车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工技术复合，技术集成和复合形成了新一类机床——复合加工机床，并呈现出复合机床多样性的创新结构。

（4）数字化控制技术进入智能化的新阶段

加工过程智能监控可以实现工件装卡定位自动找正，刀具直径和长度误差测量，加工过程刀具磨损和破损诊断，零件装卸物流监控，自动进行补偿、调整，自动更换刀具等。智能监控系统对机床的机械、电气、液压系统出现故障自动诊断、报警、故障显示等，直至停机处理。采用智能技术来实现与管理信息融合下的重构优化的智能决策、过程适应控制、误差补偿智能控制、故障自诊断和智能维护等功能，大大提高成形和加工精度、提高制造效率。信息化技术在制造系统上的应用，发展成柔性制造单元和智能网络工厂，并进一步向制造系统可重组的方向发展。

工作任务 2

数控车床加工工艺、加工路线及加工刀具的选择

任务描述 >>

本任务侧重于数控车床加工知识的学习，让学生了解数控加工工艺的重要性、切削用量的选择和数控刀具的选用的合理性，帮助学生了解相关理论和技能知识，养成良好的操作习惯和职业道德。

任务目标 >>

1. 理解数控车削加工工艺方案、工艺路线制订原则；
2. 掌握数控车削切削用量的选择方法；
3. 熟悉数控加工刀具的选择。

任务实施 >>

1. 场地：数控实习车间，操作演示切削用量的选择；

2. 观摩数控机夹刀具。

任务评价 >>

序号	评价项目	分值	评价标准	评价得分
1	数控编程工艺路线制订原则	20	写出制订的原则	
2	切削用量三要素确定顺序	20	写出确定的顺序	
3	切削深度选择确定方法	15	写出确定的方法	
4	进给速度选择确定方法	15	写出确定的方法	
5	切削速度选择确定方法	15	画出确定的方法	
6	数控机夹车刀的认识与选择	15	说出各类机夹车刀的用处	

知识链接 >>

1. 数控车削加工工艺方案、工艺路线制订原则

加工路线是刀具在整个加工工序中相对于零件的运动轨迹，它是编制程序的主要依据。在制订加工路线前应对零件图样进行工艺分析，详细内容如下：

- (1) 仔细阅读图样，明确加工内容；
- (2) 详细了解零件图样所标注的几何尺寸、尺寸精度、形位公差、表面粗糙度等技术要求，了解零件的材料、毛坯类型、生产批量等等，这些都是合理安排数控车削加工工艺中各基本参数的主要依据；
- (3) 分析工件图样上尺寸标注方法是否适应数控加工的特点；
- (4) 分析工件图样上几何元素的给定条件是否充分，要保证编程时的数值计算能顺利进行。

数控车床是事先按照编制好的加工程序对零件进行自动加工的。对于手工编制的加工程序，其水平的高低将直接影响零件的加工质量、生产效率和刀具寿命。一个好的程序员首先应该是一个好的工艺员，其次才是能熟练掌握、灵活运用机床数控系统编程功能的程序员。我们在编程时应充分遵循以下原则：

- (1) 保证零件的加工精度和表面粗糙度要求；
- (2) 尽量缩短加工路线，减少空行程时间和换刀次数，以提高生产率；
- (3) 尽量使数值计算方便，程序段少，以减少编程工作量。

在数控车床加工过程中，由于受到加工对象复杂多样，特别是轮廓曲线的形状和位置千变万化，加工材料不同、批量不同等方面因素的影响，在对具体零件制订加工方案时，应该进行具体分析处理。只有这样，才能使所确定的加工方案合理，从而达到质量优、效率高和成本低的目的。

制订加工方案的一般原则为：

- (1) 先粗加工，后精加工；
- (2) 由近及远；
- (3) 内、外表面加工交叉进行；

(4) 最后加工槽、螺纹等表面。

2. 数控车削切削用量的选择

选择切削用量的目的是在保证加工质量和刀具耐用度的前提下，使切削时间最短，生产效率最好，成本最低。

(1) 选择切削用量的基本要求

- ① 切削中要保证人身和设备安全，不能损坏机床和刀具；
- ② 达到零件加工的尺寸精度和表面粗糙度要求；
- ③ 尽量发挥机床的切削功率和刀具的切削性能，选择大的切削用量，提高生产效率；
- ④ 不允许超机床功率切削和引起机床振动。

(2) 切削用量的选择步骤

按照粗、精加工阶段，分别选择切削深度 (a_p)、进给速度 (F)、切削速度 (v)。

① 切削深度 a_p 的确定

零件上已加工表面与待加工表面之间的垂直距离称为切削深度。

切削深度根据机床、夹具、刀具和工件组成的工艺系统刚度来确定背吃刀量 a_p 。在工艺系统刚度允许的情况下，应以最少的进给次数切除加工余量，以提高加工效率。当零件的加工精度要求较高时，需要保留 0.2 ~ 0.5mm 的单边精车余量，以保证加工精度和表面粗糙度。

② 进给速度 F

进给速度在切削加工中是一个重要参数。粗加工时，进给量在保证刀具、零件、车床刚度等条件允许的前提下，选用尽可能大的 F 值；精加工时进给量主要受表面粗糙度的限制，当表面粗糙度要求较高时，应选用较小的 F 值。

③ 切削速度 v

在保证刀具的耐用度及切削负荷不超过机床额定功率的情况下选定切削速度。粗加工时，切削深度和进给量均较大，故选较低的切削速度；精加工时，则选较高的切削速度。主轴转速要根据允许的切削速度来选择。

由切削速度计算主轴转速 (r/min) 的公式如下：

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

切削速度的影响：

- a. 切削速度提高 20%，刀具耐用度降低 1/2；切削速度提高 50%，刀具耐用度降低至原来的 1/5。
- b. 低速 (20 ~ 40m/min) 切削易产生振动，刀具耐用度也低。

3. 数控车床加工选用的刀具

刀具的选择是数控车削加工工艺设计的重要内容之一。数控车削加工效率高，必须有高的切削用量，对刀具的要求比普通车床高，不仅刚性好、切削性能好、耐用度高，而且调整方便。

数控车削使用刀具的特点：

- (1) 精度高：刀片、刀杆精度高并采用微调刀杆，提高刀具精度；
- (2) 可靠性好：结构可靠，断屑稳定；
- (3) 换刀迅速：提高加工效率；
- (4) 刀片材料：硬质合金，涂层材料；
- (5) 刀杆截面：方形，圆形（与车床刀架系统有关）。

根据刀头和刀体的连接方式，车刀主要分为焊接刀具、机械夹紧（机夹）式可转位车刀两大类。常用机夹可转位车刀加工的各型面如图 1-2-1 所示。

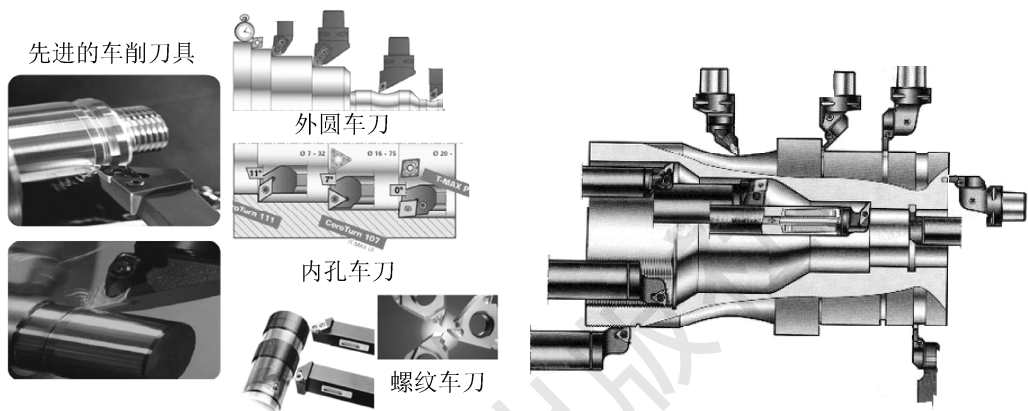


图 1-2-1 数控机夹刀具加工各型面

任务拓展 >>

新型刀具的使用

“工欲善其事，必先利其器”，数控车床刀具与工具系统的性能、质量和可靠性以及刀具管理系统的水平，直接影响到我国制造业数百万台昂贵的数控车床生产效率的高低和加工质量的优劣，也直接影响到整个机械制造业的生产技术水平和经济效益。可以说数控刀具及其管理系统水平的低下，正在成为制约我国制造业发挥数控车床加工效率的“瓶颈”。

数控刀片及刀杆如图 1-2-2、图 1-2-3 所示。

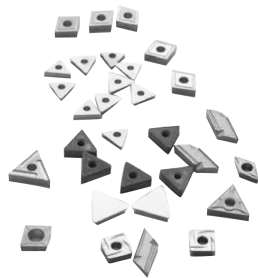


图 1-2-2 数控刀片



图 1-2-3 数控刀杆

工作任务 3

数控车床的编程方法及编程坐标系

任务描述 >>

本任务侧重于数控编程方法和编程坐标系的熟悉与理解,掌握各坐标系各个点的确定。

任务目标 >>

1. 了解数控车床加工选用的编程方法;
2. 理解数控车床坐标系。

任务实施 >>

1. 场地: 数控实习车间;
2. 学习数控车床的几个坐标系位置;
3. 学习工件坐标系的设定方法;
4. 学习坐标系中各坐标点的位置确定。

任务评价 >>

序号	评价项目	分值	评价标准	评价得分
1	数控车床常用的编程方法	10	说出编程的方法	
2	机床坐标系、工件坐标系	20	画出坐标系图形	
3	编程坐标点的确定	30	写出正确的数值	
4	根据坐标数值标注点	30	标出正确的点	
5	根据数值画出坐标图形	10	画出正确的图形	

知识链接 >>

1. 数控车床加工选用的编程方法

数控加工程序的编制方法主要有两种: 手工编制程序和自动编制程序。

(1) 手工编程: 手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作。

一般对几何形状不太复杂的零件, 所需的加工程序不长, 计算比较简单, 用手工编程比较合适。手工编程的缺点: 耗费时间较长, 容易出现错误, 无法胜任复杂形状零件的编程。手工编程比较及时、简单, 在点定位及由直线与圆弧组成的轮廓加工中, 手工编程仍广泛使用。

(2) 计算机自动编程: 自动编程是指在编程过程中, 除了分析零件图样和制订工艺

方案由人工进行外,其余工作均由计算机辅助完成。采用计算机自动编程时,数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的,可解决许多复杂零件的编程难题。常用的辅助编程软件有 MASTERCAM、PRO/E、CAXA 数控车等软件。

2. 数控车床编程要点

数控车床的编程具有如下特点:

(1) 在一个程序段中,根据图样上标注的尺寸可以采用绝对值编程或增量值编程,也可以采用混合编程。

(2) 被加工零件的径向尺寸在图样上和测量时,一般用直径值表示,所以采用直径尺寸编程更为方便。

(3) 由于车削加工常用棒料作为毛坯,加工余量较大,为简化编程,常采用不同形式的固定循环。

(4) 编程时,认为车刀刀尖是一个点,而实际上为了提高刀具寿命和工件表面质量,车刀刀尖常磨成一个半径不大的圆弧。为提高工件的加工精度,编制圆头刀程序时,需要对刀具半径进行补偿。使用刀具半径补偿后,编程时可直接按工件轮廓尺寸编程。

(5) 为了提高加工效率,车削加工的进刀与退刀都采用快速运动。进刀时,尽量接近工件切削开始点。切削开始点的确定以不碰撞工件为原则。

3. 数控车床坐标系

(1) 机床坐标系

① 机床相对运动的规定。

在机床上,我们始终认为工件静止,而刀具是运动的。这样编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。

② 机床坐标系的规定。

标准机床坐标系中 X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡儿直角坐标系决定,如图 1-3-1 所示。

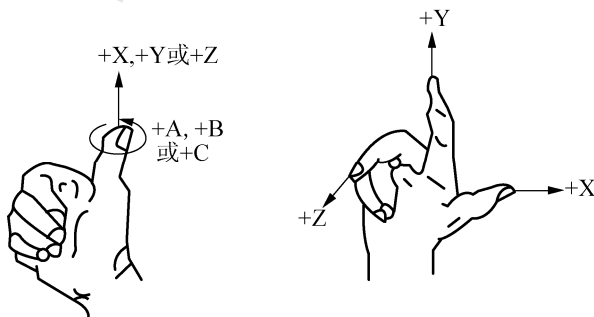


图 1-3-1 右手笛卡儿直角坐标系

③ 坐标轴方向的确定。

a. Z 坐标。

Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴所决定的,即平行于主轴轴线的坐标轴即为 Z 坐标,Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向。

b. X 坐标。

X 坐标平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。

④ 机床原点的设置。

机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已经确定下来，是数控车床进行加工运动的基准参考点。

在数控车床上，机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点 O_1 处，如图 1-3-2 所示。

⑤ 机床参考点。

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点，即测量起点。

机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的，坐标值已输入数控系统中。因此参考点对机床原点的坐标是一个已知数。

(2) 工件坐标系

工件坐标系是编程人员根据零件图样及加工工艺等建立的坐标系。也称为编程坐标系。

编程坐标系一般供编程使用，确定工件坐标系时不必考虑工件的毛坯在机床上的实际装夹位置。

编程原点是根据加工零件图样及加工工艺要求选定的编程坐标系的原点。

编程原点应尽量选择在设计基准或工艺基准上，编程坐标系中各轴的方向应该与所使用的数控车床相应的坐标轴方向一致，如图 1-3-3 所示为车削零件的编程原点 O 。

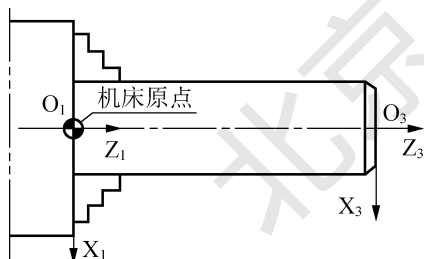


图 1-3-2 数控车床坐标系

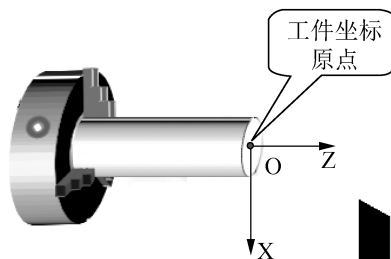


图 1-3-3 数控车床工件坐标系

(3) 编程方式的选择

① 绝对坐标与增量（相对）坐标方式

a. 绝对坐标系。所有坐标点的坐标值均从编程原点计算的坐标系，称为绝对坐标系。

b. 增量坐标系。坐标系中的坐标值是相对于刀具前一位置（或起点）来计算的，称为增量坐标。增量坐标常用 U 、 W 表示，与 X 、 Z 轴平行。

② 直径编程与半径编程

在数控车削编程中， X 坐标值有两种表示方法，即直径编程和半径编程。

a. 直径编程。在绝对坐标系编程方式中， X 值为零件的直径值，增量坐标系编程中， X 为刀具径向实际移动量的 2 倍。由于零件在图样上的标注及实际测量多为直径，所以数控车床上一般采用直径编程。

b. 半径编程。采用半径编程，即 X 值为零件半径值或刀具实际位移量。

(4) 编程各坐标点的确定

举一反三

例 1 根据图形坐标点，写出坐标字母点的数值。

① 学一学 (图 1-3-4):

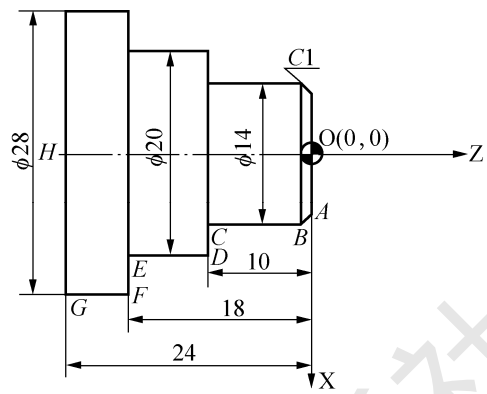


图 1-3-4

以 O 为工件编程零点:

	X 坐标	Z 坐标
A	12	0
B	14	-1
C	14	-10
D	20	-10
E	20	-18
F	28	-18
G	28	-24
H	0	-24

② 练一练 (图 1-3-5):

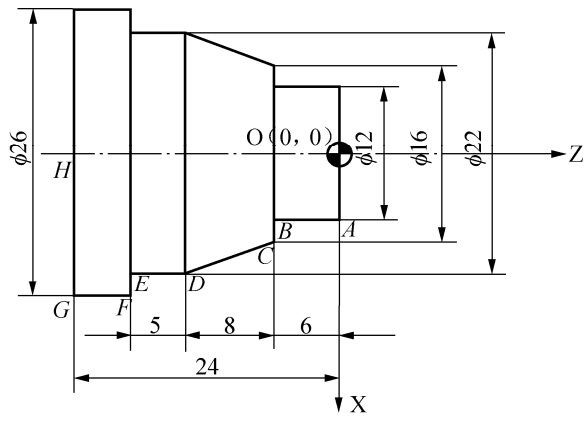


图 1-3-5

以工件右端面中心点为编程零点：

	X 坐标	Z 坐标
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

③ 练一练（图 1-3-6）：

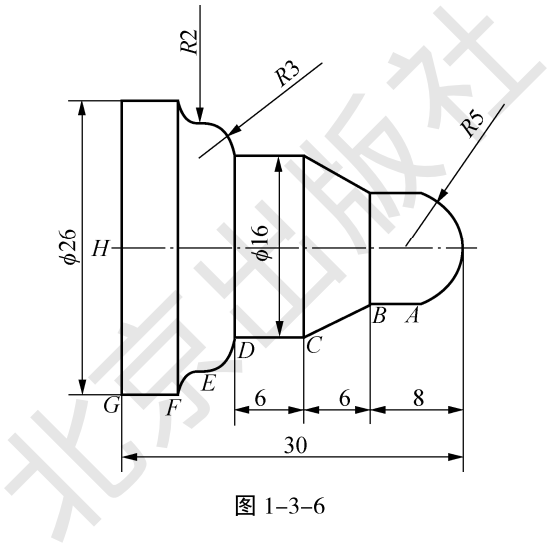


图 1-3-6

以工件右端面中心点为编程零点：

	X 坐标	Z 坐标
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

例 2 根据图形坐标点的数值，在图上标出相应的坐标点的字母。

① 学一学 (图 1-3-7):

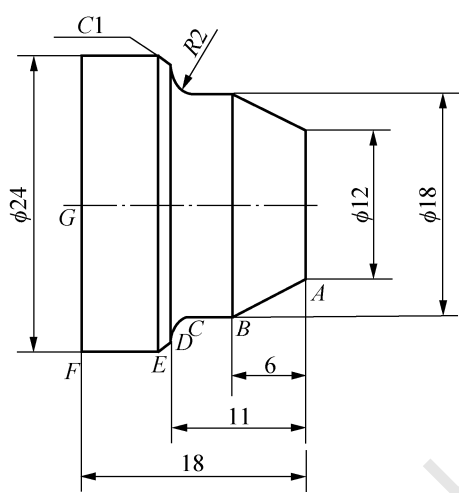


图 1-3-7

以工件右端面中心点为编程零点:

	X 坐标	Z 坐标
A	12	0
B	18	-6
C	18	-9
D	22	-11
E	24	-12
F	24	-18
G	0	-18

② 练一练 (图 1-3-8):

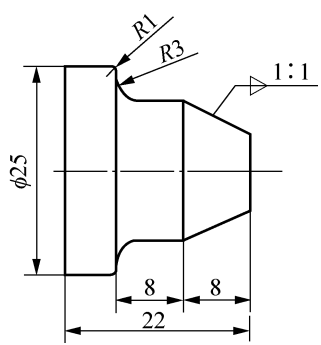


图 1-3-8

以工件右端面中心点为编程零点：

	X 坐标	Z 坐标
A	9	0
B	17	-8
C	17	-13
D	23	-16
E	25	-17
F	25	-22
G	0	-22

例 3 根据坐标点的数值，参考坐标系画出图形。

① 学一学（图 1-3-9）：

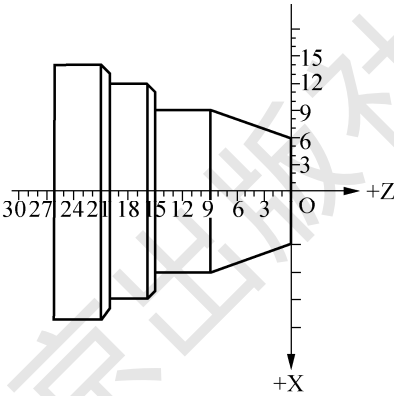


图 1-3-9

以工件右端面中心点为编程零点：

	X 坐标	Z 坐标
A	12	0
B	18	-9
C	18	-15
D	22	-15
E	24	-16
F	24	-21
G	26	-21
H	28	-22
K	28	-26

② 练一练 (图 1-3-10):

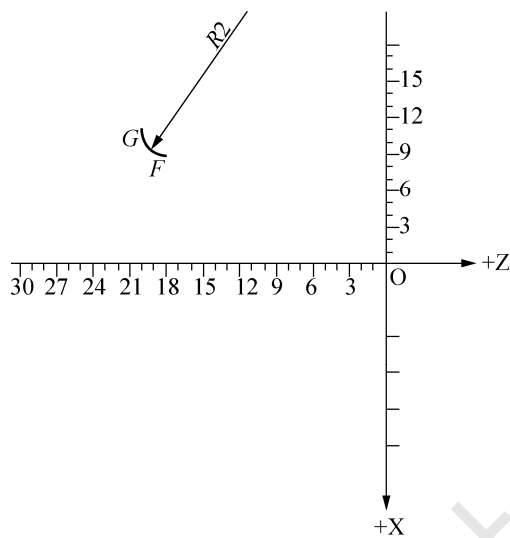


图 1-3-10

以工件右端面中心点为编程零点:

	X 坐标	Z 坐标
A	7	0
B	9	-1
C	9	-7
D	14	-7
E	18	-13
F	18	-18
G	22	-20
H	26	-20
K	29	-21.5
M	29	-27

工作任务 4

数控车床程序组成及编程指令

任务描述 >>

本任务侧重于掌握数控程序的组成、数控程序的编程格式、数控指令的功能应用。

任务目标 >>

1. 熟悉数控程序的组成;
2. 掌握数控程序段的格式、程序结构;

3. 理解数控程序编程指令的功能应用。

任务实施 >>

- 1. 场地：数控车间，设备：数控车床；
- 2. 观察机床各程序段；
- 3. 观察机床程序各编程指令。

任务评价 >>

序号	评价项目	分值	评价标准	评价得分
1	数控编程怎样保存程序	20	写出保存形式	
2	数控编程中主要包含哪些功能指令	20	写出具体的功能指令	
3	准备功能指令主要有哪些	20	说出部分功能指令	
4	辅助功能指令有哪些	20	说出部分功能指令	
5	能说出其他功能指令	20	说出部分功能指令	

知识链接 >>

数控程序组成及编程指令

(1) 程序段格式

① 零件的加工程序由若干个程序段组成。程序段格式是指一个程序段中字、字符、数据的书写规则，目前使用最多的是“字－地址”程序段格式。

② 字－地址程序段格式由程序段号字、数据字和程序段结束组成。各字后有地址，字的排列顺序要求不严格，数据的位数可多可少，不需要的字以及与上一程序段相同的续效字可以不写。排列顺序如下，其功能、地址及意义见表 1-4-1。

例：N30 G01 X50 Z-20 F0.2 S400 T0101 M03 ；

N	G	X	Z	F	S	T	M	；
		U	W					

表 1-4-1 程序功能、地址及意义

功 能	地 址	意 义
程序号	O	程序号
顺序号	N	顺序号
准备功能	G	指定动作状态（直线，圆弧等）
尺寸字	X, Z, U, W	坐标轴移动指令
	R	圆弧半径
	I, K	圆弧中心坐标，倒角量
进给速度	F	进给速度指定

续表

功 能	地 址	意 义
主轴功能	S	主轴转速指定
刀具功能	T	刀具号的指定
辅助功能	M	控制机床方面 ON/OFF 的指定
暂 停	P, U, X	暂停时间的指定
程序号指定	P	指定子程序号
重复次数	P	子程序的重复次数
参数	P, Q, R	指定程序重复部分等的顺序号

(2) 程序的构成

加工程序可分为程序号、程序内容和程序结束三部分。表 1-4-2 为 FANUC Oi 系统数控车床的一个加工程序。

表 1-4-2 FANUC Oi 系统数控车床加工程序

程 序	说 明
O0001	程序号
N10 T0101; N20 M03 S600; N30 G01 Z0 F0.2; N40 X0; N50 Z5; N60 G00 X50 Z100; N70 M05;	程序段 2 程序内容 程序段 4 程序段 5
N80 M30;	程序结束

① 程序号。在数控装置存储器中通过程序号查找和调用程序。程序号在程序的最前端，由地址码和 1~9999 范围内的任意四位数字组成，在 FANUC 系统中一般地址码为字母 O。

② 程序内容。程序内容主要用以控制数控车床自动完成零件的加工，是整个程序的主要部分，它由若干程序段组成。每个程序段由若干子程序组成，程序段段号由 N 和数字表示。每个程序字又由地址码和若干个数字组成。

③ 程序结束。程序结束一般用辅助功能代码 M02（程序结束）和 M30（程序结束，返回程序起点）等。

(3) 程序的结构

① 程序号

为了区分每个程序，都要对程序进行命名。编程时一定要参考机床使用说明，否则程序无法执行。如 FANUC 系统用字母“O”作为程序号的地址码，如图 1-4-1 所示。

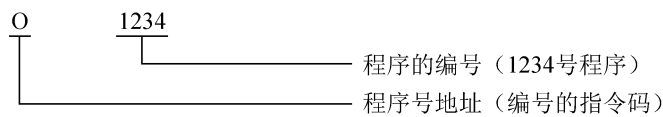


图 1-4-1

② 程序段的格式和组成

程序段的格式可分为地址格式、分隔地址格式、固定程序段格式和可变程序段格式等，如图 1-4-2 所示。

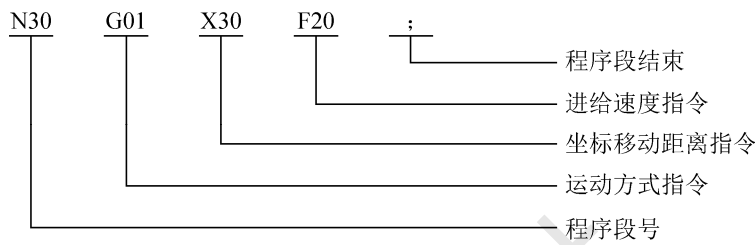


图 1-4-2

N 是程序段地址符，用于指定程序段号；G 是指令动作方式的准备功能地址；X 是坐标轴的地址；F 是进给速度地址，其后面的数字元表示进给速度的大小。

③ “字”

一个“字”的组成如图 1-4-3 所示。

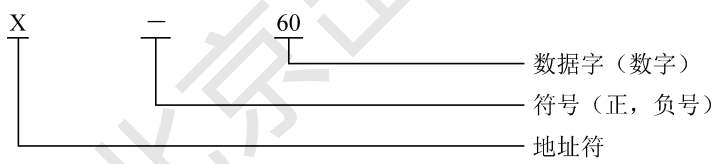


图 1-4-3

程序段号加上若干个字就可以组成一个程序段。

(4) 编程指令（七大功能指令）

① 语句号 N（也称为程序段号）。程序是一句一句编写的，一句程序称为程序段。程序段号字用以识别每一程序段，由地址码 N 和若干位数字组成。例如：N40 表示该程序段的语句号为 40。

② 准备功能字 G（又称 G 功能、G 指令，G 代码）。顾名思义，准备功能用来建立机床或数控系统工作方式的一种命令，使数控车床做好某种操作准备。

功能：使机床或数控系统建立起某种加工方式的指令。

格式：G□□（G00~G99 共 100 种）

G 指令分为模态指令（续效指令）和非模态指令。非模态指令只在本程序段中有效，模态指令可在连续几个程序段中有效，直到被相同组别的指令取代。指令表中标有相同字母或数字的为的一组。如 G00、G01、G02、G03、G04，其中 G04 为非模态指令，其余为模态指令。

③ 尺寸字。表示由地址码、符号（+、-）、绝对（或相对）数值组成。尺寸字的地址码有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C、I、J、K、D、H 等。例如：X+15 Y-20。其中“+”可省略。

④ 进给功能字 F。表示刀具中心运动时的进给量，由地址码 F 和后面若干位数字构成，通常有两种形式，一种是刀具每分钟的进给量，单位是 mm/min；另一种是每转刀具的进给量，单位是 mm/r。在编程时一个程序中只允许一个 F 代码，不同的程序可以改变 F 值代码数值。

a. 每分钟进给模式 G98——mm/min。

格式：G98 F——；

b. 每转进给模式 G99——mm/r。

格式：G99 F——；

⑤ 主轴转速功能字 S。表示数控车床主轴转速，单位由地址码 S 和后面的若干位数字组成。

功能：用于指定主轴转速，一般为 r/min。

模式：数控车床有恒转速与恒线速控制模式。

a. 恒线速度控制 G96——m/min。

格式：G96 S——；

功能：在车削端面或工件直径变化较大时使用，提高切削质量。

转速与线速度的转换关系：

$$n = 1000v / \pi d$$

b. 恒转速控制 G97（上电时默认状态）——r/min。

格式：G97 S——；

功能：该指令可设定主轴转速并取消恒线速度控制，在车削螺纹或工件直径变化不大时使用。

c. 主轴最高转速限制 G50——r/min。

格式：G50 S——；

功能：可防止因主轴转速过高，离心力太大，产生危险及影响机床寿命。

⑥ 刀具功能字 T。车削加工中要对各种表面进行加工，有粗、精加工之分，要选择不同的刀具，每把刀都有特定的刀具号，如图 1-4-4 所示，以便数控系统识别。FANUC 系统中由 T 和四位数字组成，前两位数字表示刀具号，后两位数字表示刀具补偿号。例 T0202，前面的 02 表示刀具号，后面的 02 表示刀具补偿号。

格式：T□□□□

刀具号

刀具补偿号

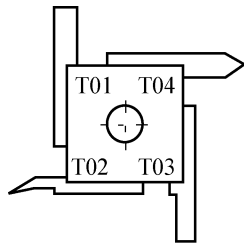


图 1-4-4

⑦ 辅助功能字 M (又称 M 功能、M 指令、M 代码)。用来控制机床辅助动作或系统的开关功能, 由地址码 M 和后面的两位数字组成。

功能: 控制机床或系统的开关功能的一种命令。

格式: M□□ (从 M00 ~ M99 共 100 种)

常用指令: M03——主轴正转; M04——主轴反转; M05——主轴停止;

M08——切削液开; M09——切削液关; M30——程序结束。

准备功能 G 代码及辅助功能 M 代码见表 1-4-3、表 1-4-4。

表 1-4-3 准备功能 G 代码

G 代码	组群	功能	模态
G00	01	快速定位	*
G01		直线插补	*
G02		(顺) 圆弧插补	*
G03		(逆) 圆弧插补	*
G04	00	暂停	
G20	06	英制	*
G21		公制	*
G27	00	原点复位检查	
G28		原点复位	
G29		从参考点返回	
G30		第 2 原点复位	
G32	01	螺纹切削	
G40	07	刀具半径补正取消	*
G41		刀具半径左补正	*
G42		刀具半径右补正	*
G50	00	坐标系统设定, 最大主轴速度设定	
G70		精车削加工循环	
G71		外圆粗车循环	
G72		端面粗切削循环	
G73		成型加工循环	
G74		Z 轴占深孔循环	
G75		X 轴切沟循环	
G76		多重螺旋切削循环	
G90	01	外径/内径切削循环	
G92		螺纹切削循环	
G94		端面切削循环	
G96	02	恒线速度控制	*
G97		取消恒线速度控制, 改为恒转速控制	*
G98	05	每分钟进给率	*
G99		每转进给率	*

注: *表示模态代码。

表 1-4-4 辅助功能 M 代码

M 代码	功 能	M 代码	功 能
M00	程序停止	M06	更换刀具
M01	程序有条件停止	M08	切削液开
M02	程序结束	M09	切削液关
M03	主轴正转	M30	程序结束并返回起点
M04	主轴反转	M98	子程序调用
M05	主轴停止	M99	子程序结束

单元小结

本单元介绍了数控车床的组成结构、工作原理及加工范围。数控车床的加工工艺，加工刀具的选择，让大家理解车削加工原理、了解车削加工的主要对象、培养对数控车削的直观印象；通过例题和练习讲解了数控车床的编程方法及编程坐标系，介绍了数控车床的程序组成及编程指令，说明了数控车床在制造业的广泛应用。

综合测试

一、填空题

1. 数控车床的坐标系分为_____坐标系和_____坐标系。
2. 在数控程序中，字母 M 主要代表_____功能，T 代表_____功能，G 代表_____功能，F 代表_____功能。
3. 数控车床大体由_____、_____、_____和_____组成。
4. 数控装置是由_____、_____、_____等构成。
5. FMS 表示_____。

二、选择题

1. 在 FANUC 数控系统中，下列属于单一固定循环的指令为（ ）。
A. G75 B. G72 C. G94 D. G50
2. （ ）指令使进给运动暂停，但是主轴继续旋转。
A. M00 B. M01 C. M02 D. G04
3. （ ）指令属于 G01 组的 G 代码。
A. G01 B. G10 C. G18 D. G21
4. M01 表示（ ）。
A. 有条件停止 B. 程序暂停
C. 程序结束 D. 主程序结束并停止

5. () 主要起润滑作用。
- A. 水溶液 B. 乳化液 C. 切削油 D. 防锈剂
6. () 是数控车床的核心。
- A. 输入/输出设备 B. 数控装置
C. 伺服系统 D. 机床本体
7. G98 G01 X30 Z-20 F50, 其中 F50 表示 ()。
- A. 50mm/r B. 50m/min C. 50mm/min D. 50cm/r
8. T0404 中, 前面 04 和后面 04 分别表示 ()。
- A. 刀具偏置号、刀具号 B. 刀具号、刀具偏置号
C. 刀具磨损号、刀具号 D. 刀具号、刀具磨损号
9. 数控车床加工过程中, 恒线速切削控制的目的是 ()。
- A. 保持主轴转速的恒定 B. 保持进给速度的恒定
C. 保持切削速度的恒定 D. 保持金属切除率的恒定
10. 选择切削用量三要素时, 切削速度 v , 进给量 F , 背吃刀量 a_p , 选择的次序是 ()。
- A. $v \quad F \quad a_p$ B. $v \quad a_p \quad F$ C. $a_p \quad v \quad F$ D. $F \quad a_p \quad v$

三、简答题

1. 简述数控车床的工作原理。
2. 数控车床标准直角坐标系中的坐标轴是如何命名的?