

 北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

数控加工

工艺及编程



周立红 ◎ 等编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是根据高等职业院校课程基本要求,针对数控加工类专业教学需要,结合数控加工类企业实际应用而编写的。全书以 FANUC 0i-D 系统编程指令为例,分为数控车床加工工艺与编程、数控铣床与加工中心机床加工工艺与编程两大部分,主要包括:数控车削加工基础、外圆与端面加工、锥面与圆弧加工、孔加工、槽及螺纹加工、非圆曲线加工、数控车床加工程序综合实例、数控铣削加工基础、工件轮廓的铣削加工、孔加工、宏程序编程、坐标变换、数控铣床与加工中心综合训练。

本书为高等职业院校数控技术专业教材,也可供企业有关技术人员自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及编程/周立红等编著. —北京:机械工业出版社, 2013.3

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目
ISBN 978-7-111-41606-7

I. ①数… II. ①周… III. ①数控机床-加工工艺-高等职业教育-教材②数控机床-程序设计-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 035310 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:罗莉 责任编辑:王欢

版式设计:霍永明 责任校对:胡艳萍

封面设计:赵颖喆 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·304 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-41606-7

定价:35.00 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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为了适应高等职业技术教育快速发展的需要，切实解决目前数控技术专业教材不能满足培养高等技术应用型、技能型人才需要的问题而编写的。在教材的编写过程中，贯彻以下原则：

一是充分汲取高等职业技术学院在探索培养高技术应用型、技能型人才方面取得的经验和教学成果，从职业（岗位）分析入手，构建专业培养计划，确定本课程的教学目标；二是贯彻先进的教学理念，根据本课程的教学目标设计循序渐进的教学项目和教学模块，每个教学模块的理论支撑力图贯彻高等职业技术教育“以应用为目的，以必需、够用为度”的指导思想；三是采用任务驱动方式编写教学模块，将数控加工工艺与数控编程指令较好地结合在一起，逐步培养学生分析问题和解决问题的能力；四是以国家职业技术标准为依据，使本书内容涵盖数控车工、数控铣工、加工中心操作工等国家职业技术标准的相关要求。

本书特别感谢北京劳动保障职业学院国家骨干校建设项目的资助。参加本书编写的有周立红、张军、段洁琰、蔡更生，限于编者水平，书中错误与不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一篇 数控车床加工工艺与编程 1

项目一 数控车削加工基础	1
模块一 数控车床概述	1
模块二 加工工艺文件的填写	5
模块三 数控车床的坐标系	11
模块四 FANUC 系统操作面板及 NC 程序基本格式	15
项目二 外圆与端面加工	23
模块一 外圆与端面加工（加工 余量较小）	23
模块二 外圆与端面加工（棒料 毛坯）	28
模块三 外圆与端面加工（铸造 毛坯）	35
项目三 锥面与圆弧加工	37
模块一 锥面加工	37
模块二 圆弧加工	40
模块三 刀尖圆弧半径补偿	45
项目四 孔加工	51
模块一 各种孔的加工	51
模块二 薄壁工件的加工	55
项目五 槽及螺纹加工	59
模块一 槽加工	59
模块二 螺纹加工	66
项目六 非圆曲线加工	73
模块一 椭圆加工	73
模块二 抛物线的加工	80
项目七 数控车床加工程序综合实例	81
模块一 典型轴类工件加工	81
模块二 轴套类工件加工	85
模块三 复杂曲面加工	87

第二篇 数控铣床与加工中心机床加工

工艺与编程 90

项目一 数控铣削加工基础	90
模块一 数控铣床与加工中心机床 概述	90
模块二 数控铣床及加工中心机床坐标 系的确定	92
模块三 FANUC 系统操作面板及功能 代码	95
项目二 工件轮廓的铣削加工	103
模块一 平面的铣削加工	103
模块二 平面槽铣削加工	120
模块三 外形轮廓铣削加工	126
模块四 外形轮廓铣削加工综合应用	137
模块五 组合件加工	144
项目三 孔加工	149
模块一 钻、铰与铰孔加工	149
模块二 镗孔与攻螺纹加工	161
项目四 宏程序编程	169
模块一 圆周均布孔的加工	169
模块二 球面的铣削	174
项目五 坐标变换	177
模块一 极坐标系编程训练	177
模块二 坐标旋转编程	180
项目六 数控铣床与加工中心机床综合 训练	184
模块一 数控铣床与加工中心机床综合 训练一	184
模块二 数控铣床与加工中心机床综合 训练二	190
模块三 数控铣床与加工中心机床综合 训练三	192

第一篇 数控车床加工工艺与编程

项目一 数控车削加工基础

模块一 数控车床概述

一、教学目标

- 1) 了解数控的基本概念。
- 2) 了解数控车床的基本结构及分类。
- 3) 了解数控车床加工的特点。

二、教学任务

通过对比数控车床和普通车床的工作过程，让学生了解数控车床的工作原理和基本结构，了解数控加工与普通机加工的异同。

三、教学内容

数控车床主要用于完成较复杂的轴类工件的加工（见图 1-1-1），可以有效地保证加工精度，提高加工效率。

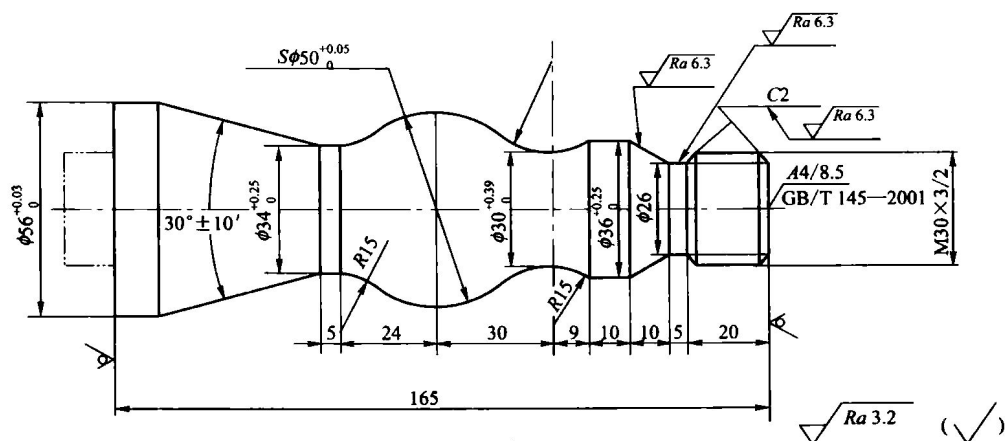


图 1-1-1 复杂轴类工件

（一）数控的基本概念

1. 数控的概念

数字控制（Numerical Control, NC）简称为数控，是近代发展起来的一种自动控制技术，是用数字化信息实现机械设备控制的一种方法，在数控加工技术方面得到了广泛的应用。

2. 数控加工技术的发展过程

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备，提出计算机控制机床的设想。1949 年，该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下，开始数控机床研究，于 1952 年研制成功第一台三坐标数控铣床，揭开了数控加工技术的序幕。

- | | | |
|-----|--------------|----------------|
| 第一代 | 电子管、继电器和模拟电路 | } 硬件数控系统 |
| 第二代 | 晶体管和印刷电路 | |
| 第三代 | 集成电路 | |
| 第四代 | 小型计算机控制的数控系统 | } 计算机数控（CNC）系统 |
| 第五代 | 微机控制数控系统 | |

数控加工技术包括：数控机床加工工艺、数控编程技术。

（二）数控车床的组成

数控车床一般由车床本体、数控装置、输入/输出设备、伺服单元、驱动装置、电气控制装置、辅助装置、测量装置等组成。数控车床的组成框图如图 1-1-2 所示，其中除车床本体之外的部分统称为数控系统。

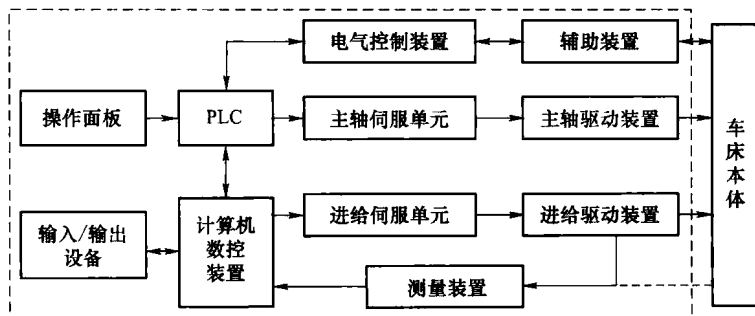


图 1-1-2 数控车床的组成框图

1. 车床本体

由于数控车床切削用量大、连续加工发热量大等因素会对加工精度有一定影响，加工中又是自动控制，不能像普通车床那样由人工进行调整、补偿，所以其设计要求比普通车床更严格，制造要求更精密。因此，车床本体采用了许多新结构，以加强刚性、减少热变形、提高加工精度。

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心，主要包括微处理器（Central Processing Unit, CPU）、存储器、外围逻辑电路以及与数控系统其他部分连接的各种接口等。数控系统完全由软件处理输入信息，可处理逻辑电路难以处理的复杂信息，使数控系统的性能大大提高。

3. 输入/输出设备

键盘、磁盘机等是数控车床的典型输入设备。除此以外，还可以用串行通信的方式输入。

数控系统一般配有阴极射线管（CRT）显示器或点阵式液晶显示器，显示信息丰富，有些还能显示图形。操作人员可通过显示器获得必要的信息。

4. 伺服单元

伺服单元是数控装置和车床本体的联系环节，它将来自数控装置的微电指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同，伺服单元有数字式和模拟式之分。而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

5. 驱动装置

驱动装置把经放大的指令信号转变为机械运动，通过机械传动部件驱动车床主轴、刀架、工作台等精确定位，或按规定的轨迹做严格的相对运动，最后加工出图样所要求的工件。与伺服单元相对应，驱动装置有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

伺服单元和驱动装置合称为伺服驱动系统，它是车床工作的动力装置，数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施。所以，伺服驱动系统是数控车床的重要组成部分。从某种意义上说，数控车床功能的强弱主要取决于数控装置，而数控车床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

6. 测量装置

测量装置也称反馈元件，通常安装在车床的工作台、丝杠或电动机轴上，相当于普通车床的刻度盘和人的眼睛。它把车床工作台的实际位移转变成电信号反馈给数控装置，数控装置将反馈值与指令值比较产生误差信号，以控制工作台向消除误差的方向移动。因此，测量装置是高性能数控车床的重要组成部分。此外，由测量装置和显示环节构成的数显装置可以在线显示车床移动部件的坐标值，大大提高了工作效率和工件的加工精度。

（三）数控车床的分类

1. 按坐标轴数分类

分为两轴数控车床和多轴数控车床。

2. 按伺服系统的类型分类

按车床进给伺服系统的控制方式不同，可分为开环控制数控车床、半闭环控制数控车床和闭环控制数控车床。

（1）开环控制数控车床

这类数控车床所采用的开环伺服系统又称为步进电动机驱动系统，它的主要特征是系统内没有位置检测反馈装置。其控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电动机本身，故控制精度不高。但其优点是结构简单，调试及维修方便，价格低廉。开环控制框图如图 1-1-3 所示。

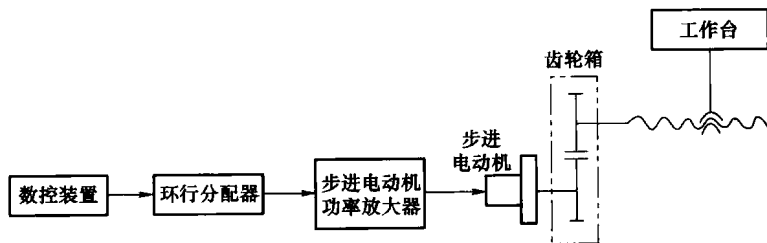


图 1-1-3 开环控制框图

(2) 半闭环控制数控机床

这类数控机床所采用的伺服系统与全闭环伺服系统的共同特点是，该系统内设有以位置检测元件为主的测量反馈装置，使车床的控制过程中形成部分位置随动控制环路，但不把机械传动位置等部分包括在内，故称为“半闭环”。该伺服系统能够自动进行位置检测和误差比较，可对部分误差进行补偿，故控制精度比开环伺服系统高。半闭环控制框图如图 1-1-4 所示。

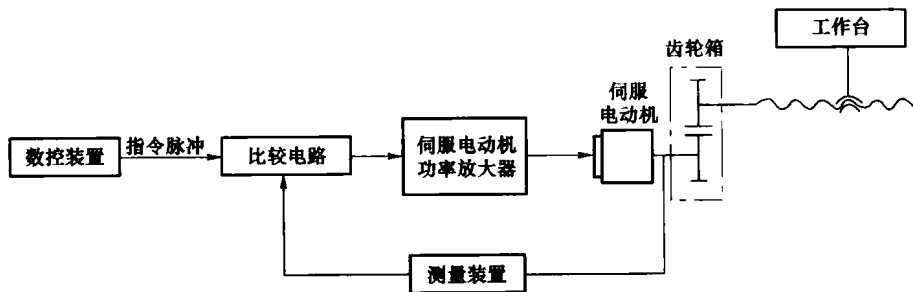


图 1-1-4 半闭环控制框图

(3) 闭环控制数控机床

这类数控机床的控制精度很高，采用全闭环伺服系统，形成全部位置随动控制环路，自动检测并补偿所有的位移误差。但该伺服系统的调试、维修工作均较困难，价格也较高。全闭环控制框图如图 1-1-5 所示。

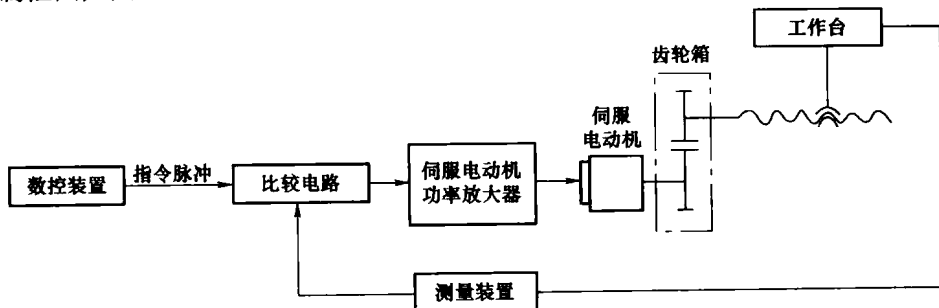


图 1-1-5 全闭环控制框图

3. 按功能水平分类

分为经济型数控机床、普及型数控机床和高级型数控机床。

(四) 数控机床加工的特点

- 1) 适应性强；
- 2) 适合加工复杂型面的工件；
- 3) 加工质量稳定；
- 4) 生产效率高；
- 5) 加工精度高；
- 6) 工序集中，一机多用；
- 7) 减轻劳动强度；
- 8) 价格高且调试和维修较复杂。

四、思考题

1. 数控车床由哪几部分组成？
2. 数控车床的加工特点有哪些？
3. 数控车床是怎样分类的？
4. 开环与闭环伺服系统在控制原理及应用上各有哪些主要区别？

模块二 加工工艺文件的填写

一、教学目标

- 1) 了解制定工艺卡片的内容及步骤。
- 2) 确定工件装夹及定位方法。
- 3) 合理安排数控加工工序，并注意与普通机加工工序的衔接。
- 4) 正确选择刀具和切削用量。
- 5) 制定加工工艺方案并填写工艺卡片。

二、教学任务

典型车削工件如图 1-1-6 所示，毛坯直径为 145mm，材料为 45 钢。在该工件上需要加工孔、内槽、外圆、锥面、台阶和圆弧，结构形状比较复杂，但精度不高。根据图 1-1-6 给出的典型车削工件，制定出数控加工工艺方案，并按照要求填写工艺卡片。工艺卡片的内容包括工件装夹定位方法、工序顺序及各工序的基本内容，所用刀具和切削参数等。

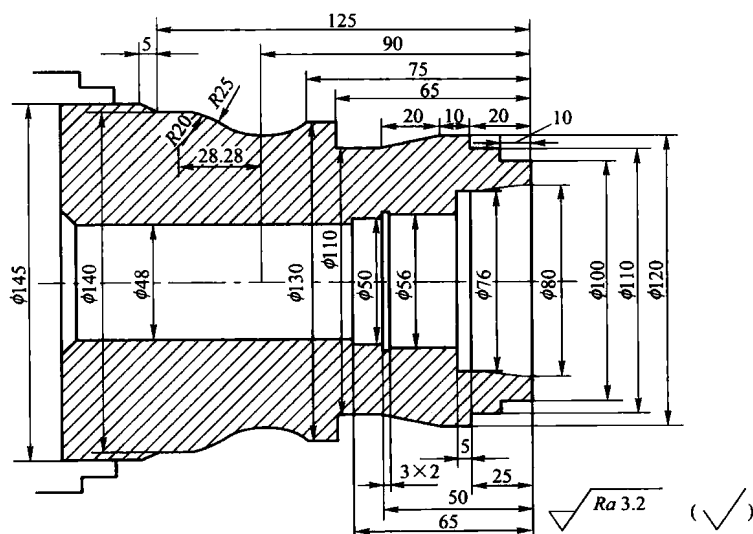


图 1-1-6 典型车削工件

工艺卡片的格式见表 1-1-1。

表 1-1-1 数控车削加工工艺卡片

装 夹	序 号	工 序 内 容	刀具规格	刀具号	切削用量选择		
					主轴转速 /(r/min)	进给量 /(mm/r)	背吃刀量 /mm
装夹一							
装夹二							

三、教学内容

(一) 制定工艺卡片的内容和步骤

- 1) 根据工件图样和各项技术要求，对加工工件进行工艺分析。
- 2) 选择定位基准。
- 3) 制定工件加工的工艺路线。
- 4) 选择各工序所适用的车床。
- 5) 选择各工序的刀具、夹具、量具及其他辅助工具。
- 6) 确定各工序的加工余量。对工艺要求较复杂的工件应绘制工序简图。
- 7) 确定切削用量。
- 8) 估算时间定额和填写工艺文件。
- 9) 对工艺文件进行校对、审批。

(二) 工件的装夹和定位

数控车床车削加工工件时，工件必须通过相应的夹具进行装夹和定位，其装夹与定位又与基准的选择有着十分密切的关系。

1. 基准及其分类

基准分为设计基准和工艺基准两大类。其中，工艺基准又分为定位基准、测量基准和装配基准。

2. 定位基准

在加工中用作定位的基准，称为定位基准。例如，在车床上用三爪自定心卡盘装夹工件时，被装夹的圆柱表面就是定位基准；又如，用两顶尖装夹长轴类工件时，定位基准是由两顶尖孔体现出的组合基准轴线。作为定位基准的点或线，一般是以具体的表面来模拟的，这

种表面叫基准。加工前必须认真分析并考虑工件如何进行装夹和定位,以保证装夹可靠、定位准确,而工件的定位又必然涉及有关基准。所以,工件的定位和装夹方法与夹具和基准的选择有关。

3. 定位基准的选择

定位基准选择正确与否不仅直接影响数控加工工件的加工精度,还会影响夹具结构的复杂程度和加工效率等。定位基准可分为,以加工表面作为基准面的精基准和以毛坯面作为基准面的粗基准两种。

(1) 精基准的选择

精基准的选择应从保证工件的加工精度,特别是加工表面的相互位置精度来考虑,同时还必须尽量使装夹方便、夹具结构简单可靠。精基准的选择应遵循如下原则:

1) “基准重合”原则 应尽可能选用设计基准作为精基准,这样可以避免由于基准不重合而引起的误差。

2) “基准统一”原则 在加工工件的多个表面时,尽可能使用同一组定位基准作为精基准。这样便于保证各加工表面的相互位置精度,避免基准变换所产生的误差,并简化夹具的设计与制造。

3) “互为基准”原则 当两个加工表面的相互位置精度以及它们自身的尺寸与形状精度都要求很高时,可以采用“互为基准”原则,反复多次进行加工。

4) “自为基准”原则 有些精加工或光整加工工序要求加工余量小而均匀,在加工时应尽量选择加工表面本身作为精基准,而该表面与其他表面之间的位置精度由先行工序保证。

(2) 粗基准的选择

粗基准的选择主要影响不加工表面与加工表面之间的相互位置精度,以及加工表面的余量分配。粗基准的选择应遵循如下原则:

1) 如果必须保证工件上加工表面与不加工表面之间的相互位置精度要求,则应以不加工表面为粗基准。如果工件上有多个不加工表面,则应以其中与加工表面位置精度要求较高的表面作为粗基准。

2) 若必须首先保证工件上某重要表面加工余量均匀,则应选择该表面作为粗基准。

3) 选作粗基准的表面应尽量平整光洁,不应有飞边、浇冒口等缺陷。

4) 粗基准一般只使用一次。

数控机床加工在选择定位基准时,除了遵循以上原则外,还应考虑以下几点:

1) 应尽可能在一次装夹中完成所有能加工表面的加工,为此要选择便于各个表面都能加工的定位方式。

2) 如果用一次装夹能完成工件上各个表面的加工,也可直接选用毛坯面作为定位基准,此时对毛坯的制造精度要求更高一些。

(三) 工序的划分和安排

1. 工序的划分

根据数控加工的特点,数控加工工序的划分一般可按下列方法进行:

1) 以一次安装、加工作为一道工序,适合加工内容较少的工件。

2) 以同一把刀具加工的内容划分工序。

3) 以加工部位划分工序, 如内腔、外形、曲面或端面。

4) 以粗、精加工划分工序。对于加工中易发生变形和要进行中间热处理的工件, 对粗加工后的变形需要进行校直, 故要把粗、精加工工序分开。

2. 工序的安排

工序的安排应根据工件的结构和毛坯的状况, 以及安装定位与夹紧的需要来考虑。

1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧; 中间穿插普通车床加工工序的, 也应综合考虑。

2) 先进行内腔加工, 后进行外形加工。

3) 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序, 最好连续加工, 以减少重复定位次数和换刀次数。

(四) 数控车床刀具的选择

1. 数控车床对刀具的要求

(1) 刀具性能

强度高、精度高、适应高速和大进给量切削、可靠性好、使用寿命长、断屑及排屑性能好。

(2) 刀具材料性能

较高的硬度和耐磨性、较高的热硬性、足够的强度和韧性、较好的导热性、良好的工艺性、较好的经济性。

常用的刀具材料有: 高速钢、普通硬质合金、新型硬质合金(金属陶瓷、超细晶粒硬质合金和涂层硬质合金)、陶瓷和超硬刀具材料。

1) 金属陶瓷 即 TiC (N) 基硬质合金。其性能介于陶瓷和硬质合金之间, 接近陶瓷的硬度和耐热性, 加工时与钢的摩擦系数小, 耐热性好, 其抗弯强度和断裂韧性比陶瓷高, 可作为高速切削加工刀具材料。

2) 超细晶粒硬质合金 提高了硬质合金硬度和耐磨性, 适合加工高硬度难加工材料; 提高了抗弯强度和冲击韧性, 适合做小尺寸整体式的铣刀、钻头和切断刀等; 晶粒极细, 可磨出非常锋利的刀刃和刀尖圆弧半径, 适用于精细加工。

3) 涂层硬质合金 它使刀片既保持了普通硬质合金基体的强度和韧性, 又使表面有更高的硬度和耐磨性; 寿命提高 5 倍以上; 通用性好, 一种涂层刀片可代替几种未涂层刀片使用。

4) 陶瓷 它具有很高的硬度和耐磨性, 寿命可达普通硬质合金的 10 ~ 20 倍; 很好的高温性能, 适合于高速切削; 摩擦系数低, 减少了切屑、刀具和工件之间的摩擦, 产生粘结和积屑瘤的可能性减小, 不但减小了刀具磨损, 提高刀具寿命, 而且使被加工工件的表面粗糙度值减小, 有时可获得以车代磨或以铣代磨的效果。

其主要原料是氧化铝、氧化硅, 节省了贵金属。缺点是脆性大、抗弯强度和冲击韧度比硬质合金低。

5) 超硬刀具材料 这类材料包括单晶金刚石、聚晶金刚石 (Poly-Crystalline Diamond, PCD)、聚晶立方氮化硼 (Poly-Crystalline Cubic Boron Nitride, PCBN) 和化学气相沉积 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 金刚石等。

许多切削加工的概念,如绿色加工、以车代磨、以铣代磨、硬态加工、高速切削、干式切削等都因超硬刀具的应用而产生的,故超硬刀具已成为切削加工中不可缺少的手段。

(3) 切削刀具用硬质合金分类

ISO 标准:

- 1) P 类(蓝色) 主要用于加工长切屑的黑色金属,如碳钢、铸钢等。
- 2) M 类(黄色) 为通用型,适于加工长切屑或短切屑的黑色金属(如碳钢、铸钢、铸铁、高锰钢等)和有色金属。
- 3) K 类(红色) 主要用于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料,如很硬的铸铁、淬火钢、铜合金、塑料等。

我国将硬质合金分为三类:

- 1) 钨钴类(W-Co) 代号 YG,相当于 ISO 标准的 K 类。
- 2) 钨钛钴类(WC-Ti-Co) 代号 YT,相当于 ISO 标准的 P 类。
- 3) 钨钛钽(铌)钴类(WC-TiC-TaC-(NbC)-Co) 代号 YW,相当于 ISO 标准的 M 类。

2. 刀具类型

(1) 可转位刀具(机夹刀具)

1) 概念 可转位刀具是将预先加工好并带有若干个切削刃的多边形刀片,用机械夹固的方法夹紧在刀体上的一种刀具。

2) 特点 ①刀片成为独立的功能元件,其切削性能得到了扩展和提高;②用机械夹固方式夹紧刀片避免了焊接工艺的影响和限制,更利于根据加工对象选择各种材料的刀片,并充分发挥其切削性能,从而提高了切削效率;③切削刃空间位置相对刀体固定不变,节省了换刀、对刀等所需的辅助时间,提高了机床的利用率。

(2) 涂层刀具

涂层硬质合金刀片的使用寿命比普通刀片相比至少提高 1~2 倍,而涂层高速钢刀具的耐用度则可提高 2~10 倍。

(五) 确定切削用量

合理选择切削用量的原则是:粗加工时,以提高生产率为主,同时考虑经济性和生产成本;半精加工和精加工时,应在保证加工质量的前提下,兼顾切削效率、经济性和生产成本。

粗加工:较大的背吃刀量 a_p 和进给量 f ,但不允许选取较高的切削速度 v_c 。

半精加工和精加工:选取较小的背吃刀量 a_p 和进给量 f ,以及尽可能高的切削速度 v_c 。

1. 主轴转速 n (r/min)

首先根据工件和刀具材料以及加工性质(如粗、精加工)等条件来确定允许的切削速度 v_c 。主轴转速 n 的计算如下:

$$n = 1000v_c / (\pi D)$$

式中 v_c ——切削速度(m/min);

D ——工件的直径(mm)。

v_c 可根据刀具产品目录中提供的切削速度推荐值加以选取,见表 1-1-2。

粗加工时,切削速度取推荐值的 70%~80%。

半精加工和精加工时,切削速度取推荐值的 1.2~1.5 倍。

表 1-1-2 数控车削用量推荐值

工件材料	工件条件	背吃刀量 /(mm·次 ⁻¹)	切削速度 /(mm·min ⁻¹)	进给量 /mm·r ⁻¹	刀具材料
$\sigma_b > 600\text{MPa}$ 碳素钢	粗加工	5~7	60~80	0.2~0.4	YT 类
	粗加工	2~3	80~120	0.2~0.4	
	精加工	0.2~0.3	120~150	0.1~0.2	
	钻中心孔		500~800r/min		W18Cr4V
	钻孔		<30	0.1~0.2	
	切断(宽度<5mm)		70~110	0.1~0.2	YT 类
HBS200 以下铸铁	粗加工		50~70	0.2~0.4	YG 类
	精加工		70~100	0.1~0.2	
	切断(宽度<5mm)		50~70	0.1~0.2	

2. 背吃刀量 a_p (mm/次)

根据机床、夹具、刀具和工件所组成的加工工艺系统的刚性，来确定背吃刀量。

粗加工时，尽可能取大一些。

精加工时，车削和镗削精加工余量为 0.1~0.5mm。

(3) 进给量 f (mm/r) 或进给速度 v_f (mm/min)

粗加工时，主要考虑工艺系统的刚性和提高生产率的要求。

精加工时，主要考虑加工精度和表面粗糙度的要求。

(六) 确定加工方案

数控车床的加工方案包括制定工序、工步及其先后顺序和进给路线等。常用的加工方案

有先粗后精方案、先近后远方案（见图 1-1-7）、先内后外方案等。制定的加工方案除了必须严格保证工件的加工质量外，还应注意使程序段最少和进给路线最短。切割进给路线比较如图 1-1-8 所示。

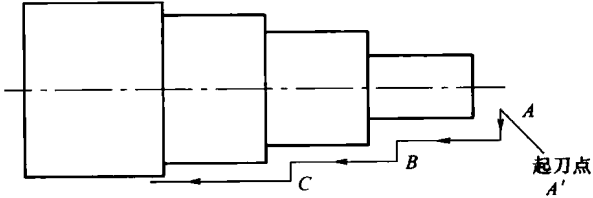


图 1-1-7 先近后远加工工艺

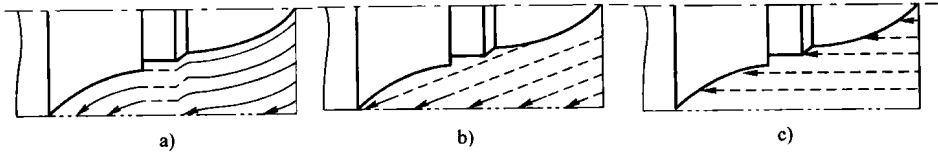


图 1-1-8 切削进给路线对比

a) 复合循环进给路线 b) “三角形”进给路线 c) “矩形”进给路线

(七) 数控加工程序的编制

数控编程是指从获得工件图样到编出数控加工程序的全过程。理想的数控程序不仅应该保证加工出符合工件图样要求的合格工件，还应该使数控车床的功能得到合理的应用与充分的发挥，使数控车床能安全、可靠、高效地工作。

1. 数控加工程序编制的步骤

- 1) 分析工件图样，确定加工工艺过程。
- 2) 数学处理（坐标计算）。
- 3) 编写数控加工程序。
- 4) 程序校验与首件试切加工。

2. 数控编程的方法

(1) 手工编程

手工编程是指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工件，所需的加工程序不长，计算比较简单，用手工编程比较合适。因为车床加工的工件为回转体，属于二维加工，计算比较简单，手工编程应用较多。

(2) 自动编程

自动编程是指，借助数控自动编程系统，由计算机来辅助生成加工程序。这解决了手工编程难以解决的复杂工件的编程问题，既减轻了编程的劳动强度，又提高了效率和准确性。

四、考核

1. 考核内容

完成图 1-1-6 所示典型车削工件的数控车削加工工艺卡片。

2. 考核标准（见表 1-1-3）

表 1-1-3 考核标准

考核内容			配 分	得 分
工 艺 部 分		评分标准		
1	装夹定位方法正确	一处错误扣 5 分	10	
2	加工顺序安排合理,对加工部位的描述规范、准确	一处错误扣 3 分,扣完为止	30	
3	刀具选择合理	一处错误扣 5 分,扣完为止	20	
4	切削用量选择合理	一处错误扣 5 分,扣完为止	40	
总 分			100	

五、思考题

- 1. 为什么说工艺分析及处理是编程中非常重要的工作之一？工艺分析有哪些内容？
- 2. 常用的刀具材料有哪些？各有什么特点？
- 3. 数控车床对刀具的要求有哪些？

模块三 数控车床的坐标系

一、教学目标

- 1) 掌握数控车床坐标轴的命名原则和正方向的确定方法。
- 2) 掌握机床坐标系和工件坐标系的概念。

- 3) 掌握绝对坐标和增量坐标的概念及坐标点的表示方法。
- 4) 掌握基点、节点的概念。

二、教学任务

根据工件图样,能够熟练找出编程所需的基点(或节点),建立工件坐标系,并计算出该工件坐标系下各基点(或节点)的坐标值。

三、教学内容

(一) 坐标轴及运动方向

1. 标准坐标系及运动方向

对数控机床中的坐标系和运动方向的命名,国际标准化组织(ISO)的 ISO841:2001 标准和等同采用 ISO841 标准的我国国标 GB/T 19660—2005《工业自动化系统与集成 机床 数值控制 坐标系和运动命名》都统一规定采用标准的右手直角坐标系(见图 1-1-9),并规定增大刀具与工件之间距离的方向为正方向。

2. Z 轴的确定

机床主轴是传递主要切削动力的轴,表现为加工过程中带动刀具旋转或带动工件旋转。统一规定,与机床主轴重合或平行的刀具运动坐标为 Z 轴,远离工件的刀具运动方向为 Z 轴正方向(+Z),如图 1-1-10 所示。

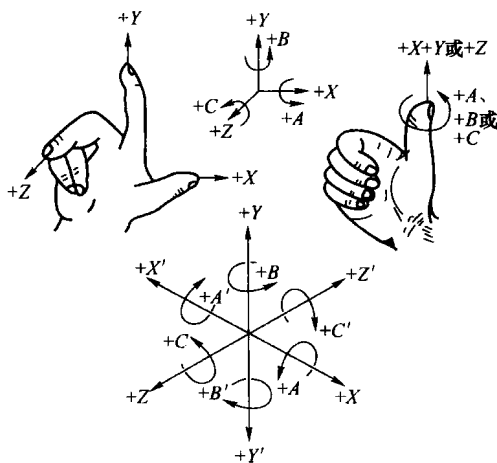


图 1-1-9 右手直角坐标系

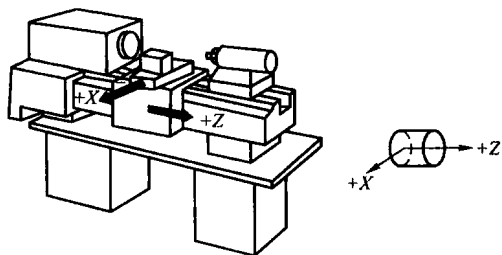


图 1-1-10 数控车床的坐标系

3. X 轴的确定

X 轴是水平的,平行于工件的装夹面。对于加工过程中主轴带动工件旋转的机床(如车床),其 X 轴沿工件的径向,平行于横向滑座或其导轨;刀架上刀具或砂轮离开工件旋转中心的方向为 X 轴正方向。

4. Y 轴的确定

根据 Z 轴和 X 轴的方向,利用右手直角坐标系即可确定 Y 轴的方向。

【特别强调】 机床的运动是指刀具和工件之间的相对运动,在确定坐标系时一律假定

工件是静止的，即刀具在坐标系内相对于静止的工件运动。

【好处】 编程人员不必考虑机床具体的运动形式，只需根据工件图样即可编程。机床坐标系可在机床使用说明书或机床标牌上找到。

（二）机床原点、机床参考点

1. 机床原点

机床原点又称机械原点，它是机床坐标系的原点。该点是机床上一个固定的点，由机床生产厂商设定。机床原点是工件坐标系、机床参考点的基准点。

2. 机床参考点

机床参考点是机床坐标系中一个固定不变的位置点，是用于对机床工作台、滑板与刀具相对运动的测量系统进行标定和控制的点。机床通电后，通常进行回零操作，目的是对基准进行重新核定，可消除由于各种原因产生的基准偏差。

机床原点和机床参考点的位置由机床生产厂商确定，可以是同一个点，也可以不是同一个点，用户不能随意更改。（见机床说明书）

（三）工件坐标系

工件坐标系是在数控编程时用来定义工件形状和刀具相对工件运动的坐标系。工件装夹到机床上时，应使工件坐标系与机床坐标系的坐标轴方向保持一致。工件坐标系的原点称为工件原点或编程原点。

工件坐标系与机床坐标系的区别是，坐标原点不同。

选择工件原点时应遵循如下4点：

- 1) 工件原点选在工件图样的基准上，以便于编程。
- 2) 工件原点尽量选在尺寸精度高、粗糙度值低的工件表面上。

3) 工件原点最好选在工件的对称中心上。

4) 工件原点要选在便于测量和检验的表面上。

用数控车床加工工件时，工件原点一般设在主轴中心线与工件端面的交点处，如图1-1-11所示。

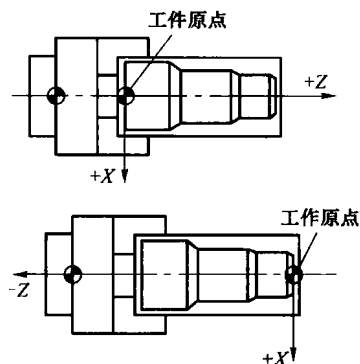


图 1-1-11 工件原点

（四）绝对坐标编程与增量坐标编程

数控加工程序中，表示几何点的坐标位置的方式有绝对值和增量值两种。绝对值是以“工件原点”为依据来表示坐标位置的；增量值是以相对于“前一点”位置坐标尺寸的增量来表示坐标位置的。

数控车床上绝对值的坐标以地址 X、Z 表示；增量值的坐标以地址 U、W 分别表示 X、Z 轴向的增量。X 轴向的坐标不论是绝对值还是增量值，一般都用直径值表示（称为直径编程），这时刀具实际的移动距离是直径值的一半。

图 1-1-12 所示各点坐标的计算如下：

A: X16, Z2

B: X16, Z-12

C: X32, Z-20

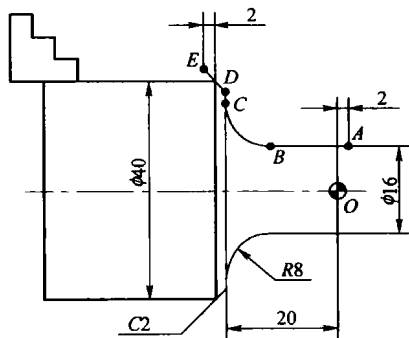


图 1-1-12 坐标计算