



全国高职高专教育“十一五”规划教材  
国家精品课程“数控编程与加工技术”主讲教材

数控技术专业系列

# 数控编程与加工技术

马雪峰 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材  
国家精品课程“数控编程与加工技术”主讲教材

# 数控编程与加工技术

马雪峰 主编

许朝山 韩加好 副主编

丁 岩 审阅

高等教育出版社

## 内容提要

本书按照零件的分类讲解数控编程以及加工方法,以 SINUMERIK 802D 数控车床、FANUC 0i 数控系统的数控铣床(加工中心)常用编程指令为基础,延伸到华中 HNC-21 世纪星数控系统,介绍了先进的五面体和五轴数控机床的编程技术。

本书结合企业的工作岗位需求,针对高职教育目标,突出实践动手能力,是以数控编程为主、以数控加工工艺和数控加工为基础的、实现理论融于实践知识的项目式教材。本书与企业共同开发,以企业的工作任务为基础,让学生在在学习中体验企业真实的工作任务,对实际编程加工有很强的指导作用。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会相关从业人员的业务参考书及培训用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/马雪峰主编. —北京:高等教育出版社,2009.5

ISBN 978-7-04-026196-7

I. 数… II. 马… III. ①数控机床-程序设计②数控机床-加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 050626 号

策划编辑 徐进 责任编辑 贺玲 封面设计 张志奇  
责任绘图 尹莉 版式设计 王艳红 责任校对 王雨  
责任印制 毛斯璐

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京机工印刷厂		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009 年 5 月第 1 版
印 张	18.5	印 次	2009 年 5 月第 1 次印刷
字 数	450 000	定 价	23.90 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26196-00

# 前 言

本书是常州机电职业技术学院在江苏省教育科学“十五”规划重点课题《构建“以工作任务为中心,以项目课程为主体”的高职课程模式》的指导思想下,根据数控领域职业岗位群的需求,以“工学结合”为切入点,以“工作任务”为导向,运用任务驱动的项目教学法,以学生为主体设计教学过程,模拟“职业岗位情境”,编写的理论实践一体化项目教材。

本书的主要特色如下:

1. 针对性强。结合企业的工作岗位,针对高职教育目标,培养学生数控编程的应用能力。针对培养目标设置实践项目,教材内容的选择既考虑了学生的能力和基础,又反映学生身心特点,便于学生接受。

2. 实用性强。教材精选生产加工中的实际典型零件为实例,体现了“贴近技术、贴近生产、贴近工艺”的要求。

3. 可操作性强。认真筛选,选择那些针对性强、训练目标明确、便于操作的项目来编写教材。

4. 考核作用强。教材分项目编写,在每个项目中都有最终要完成的实践内容,作为学生要完成的实践任务。这样根据学生任务完成情况,在平时就能完成各模块考核,可以较为准确地反映学生的学习成绩。

5. 指导作用强。本书的每个项目开始都明确提出学习目标和要求,便于学生掌握知识和能力要点,也便于教师组织和开展教学。在某种程度上甚至可以说本书也是教案和备课笔记的统一。

6. 经验性强。校企结合,本书的编写者既有在学校从事多年数控教学的教师,也有在生产一线操作和管理数控机床编程与加工、具备较强实践能力的工程师,在本书中穿插介绍了很多相关的宝贵实践经验。

7. 先进性强。本书在介绍典型的 FANUC 与 SIEMENS 系统编程技术的同时,拓宽到华中世纪星等其他数控系统编程,既介绍通用系统、通用机床的编程技术,又介绍最新的五轴数控机床编程。

本书中的工作任务源自企业,教材的实践载体提倡在真实的职业环境下进行。因此,建议本书内容的讲解,在工学结合的培养模式下,实施项目式教学最佳。同时本书配有丰富的教学资源,包括电子教案、授课计划、试题库、视频文件等。需要者可登录 <http://jwc.czmec.cn/jpkc/skbc/> 进行下载。

本书由常州机电职业技术学院马雪峰担任主编,常州机电职业技术学院许朝山、连云港职业技术学院韩加好担任副主编。马雪峰编写第一篇和第四篇;常州机电职业技术学院丁仁华编写第二篇;朝加好编写第一篇拓展知识、第二篇拓展知识;常州机电职业技术学院周云曦编写第三篇项目 1 模块 1、模块 2;许朝山编写第三篇项目 1 模块 3;江苏新瑞机械有限公司焦洋编写第三

篇项目 2;南京四开公司祁欣编写第三篇项目 3。

全书由齐二机床集团有限公司丁岩审阅,黑龙江北方汽车制动系统有限公司、江苏新瑞机械有限公司、南京四开公司、齐二机床集团有限公司和常州机电职业技术学院的各级领导对本书的编写工作给予了大力支持与帮助,在此一并表示感谢。

限于编者的水平和经验,书中难免有缺点和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2009年2月

# 目 录

## 第一篇 数控车床程序的编制

项目 1 轴类零件的数控编程 .....	3	四、相关理论知识 .....	38
模块 1 阶梯轴类零件的数控编程 .....	4	五、拓展知识:FANUC Oi - TD 和华中世纪	
一、工作任务 .....	4	星 21/22M 数控系统的应用 .....	42
二、工作任务完成 .....	5	项目 2 轴套类零件的数控编程 .....	49
三、相关实践知识 .....	8	一、工作任务 .....	49
四、相关理论知识 .....	11	二、工作任务完成 .....	49
五、拓展知识:FANUC Oi - TD 和华中世纪		三、相关实践知识 .....	54
星 21/22M 数控系统的应用 .....	19	四、相关理论知识 .....	55
模块 2 曲面轴类零件的数控编程 .....	27	五、拓展知识:FANUC Oi - TD 和华中世纪	
一、工作任务 .....	27	星 21/22M 数控系统的应用 .....	62
二、工作任务完成 .....	28	高新技术知识链接 机械制造业中的绿色加	
三、相关实践知识 .....	31	工——干式切削技术 .....	65

## 第二篇 数控铣床程序的编制

项目 1 平板类零件的数控编程 .....	71	四、相关理论知识 .....	98
模块 1 平面类凸轮廓零件的数控编程 .....	72	五、拓展知识:SINUMERIK 802D 和华中世	
一、工作任务 .....	72	纪星 21/22M 数控系统的应用 .....	101
二、工作任务完成 .....	73	项目 2 盘类零件的数控编程 .....	104
三、相关实践知识 .....	76	一、工作任务 .....	104
四、相关理论知识 .....	78	二、工作任务完成 .....	104
五、拓展知识:SINUMERIK 802D 和华中世		三、相关实践知识 .....	110
纪星 21/22M 数控系统的应用 .....	86	四、相关理论知识 .....	112
模块 2 平面类型腔零件的数控编程 .....	88	五、拓展知识:SINUMERIK 802D 系统和华	
一、工作任务 .....	88	中世纪星 21/22M 数控系统的应用 .....	133
二、工作任务完成 .....	89	高新技术知识链接 先进制造技术的发展	
三、相关实践知识 .....	92	趋势 .....	144

## 第三篇 加工中心程序的编制

<b>项目 1 箱体类零件的数控编程</b> .....	149	<b>项目 2 异形类零件的数控编程</b> .....	256
<b>模块 1 壳体的数控编程</b> .....	150	一、工作任务 .....	256
一、工作任务 .....	150	二、工作任务完成 .....	256
二、工作任务完成 .....	151	三、相关实践知识 .....	258
三、相关实践知识 .....	194	四、相关理论知识 .....	265
四、相关理论知识 .....	212	<b>项目 3 曲面体类零件的数控</b>	
五、拓展知识: SINUMERIK 802D 数控系统		<b>编程</b> .....	267
的应用 .....	217	一、工作任务 .....	267
<b>模块 2 箱体的数控编程</b> .....	220	二、工作任务完成 .....	267
一、工作任务 .....	221	三、相关实践知识 .....	272
二、工作任务完成 .....	221	四、相关理论知识 .....	274
三、相关实践知识 .....	233	<b>高新技术知识链接 虚拟制造技术及其</b>	
四、相关理论知识 .....	237	<b>应用</b> .....	275
五、拓展知识: SINUMERIK 802D 数控系统			
的应用 .....	252		

## 第四篇 项目习题库

<b>附录 FANUC 0M 系统的报警号及含义</b> .....	285
<b>参考文献</b> .....	287

# 第一篇

## 数控车床程序的编制

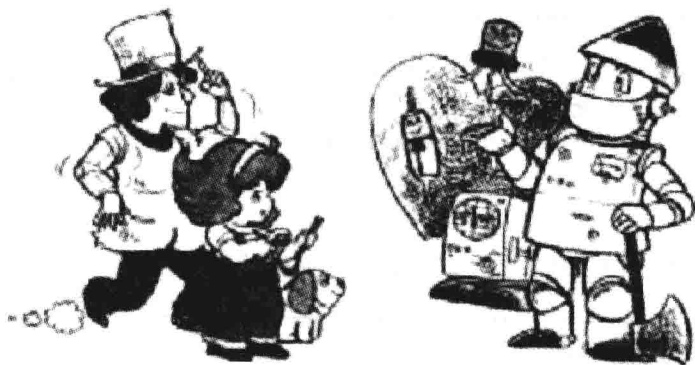




项目

# 1

## 轴类零件的数控编程



### 能力目标：

1. 会计算轴类零件粗加工和精加工的切削参数；
2. 会正确选择刀具和夹具；
3. 会编制轴类零件粗加工和精加工程序。



### 学习目标：

1. 熟练编制数控加工工艺；
2. 熟练建立工件坐标系；
3. 能够熟练完成轴类零件的手工编程。

# 模块 1

# 阶梯轴类零件的数控编程

### 能力目标：

1. 能够确定阶梯轴类零件粗加工和精加工刀具轨迹；
2. 会选择切削参数、刀具和夹具；
3. 会编制阶梯轴类零件的粗加工和精加工程序。

### 学习目标：

1. 能够熟练地制定阶梯轴类零件数控加工工艺和填写工艺卡片；
2. 能够准确建立工件坐标系；
3. 熟练掌握 SINUMERIK 802D 数控系统常用的 G54 ~ G57、G90/G91、G00/G01、G02/G03、G17/G18/G19、G94/G95、S、F、M 等编程指令；
4. 会编制阶梯轴类零件数控车削工艺和加工程序。



## 一、工作任务

1. 编制图 1-1 所示阶梯轴数控车削工艺及编制数控程序。

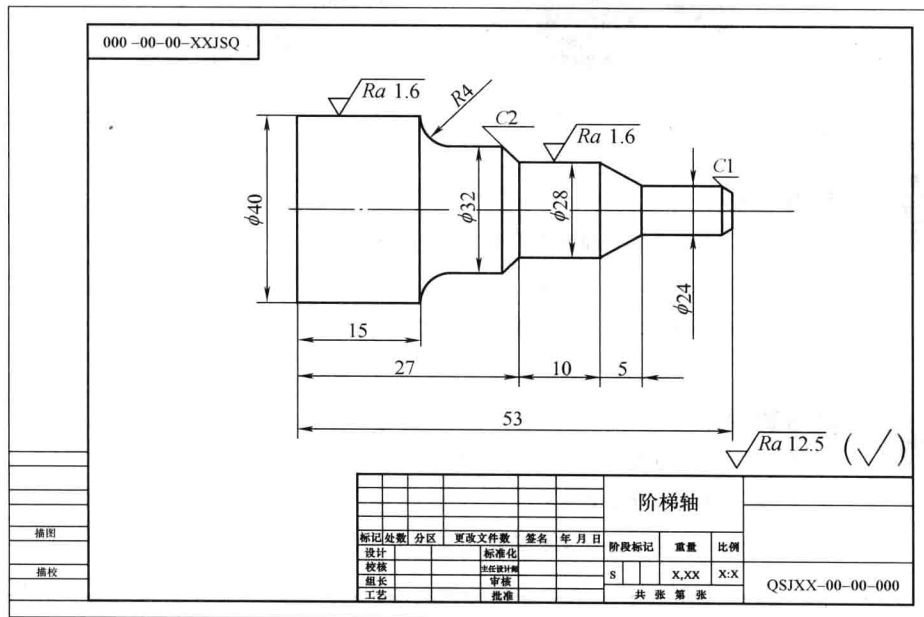


图 1-1 阶梯轴零件图

2. 生产纲领:50 件;材料为 45 钢。

## 二、工作任务完成

### (一) 数控加工工艺分析

#### 1. 明确加工内容

从图样上看,工件部分表面粗糙度要求为  $Ra1.6$ ,零件需经过初、精加工两个阶段。

#### 2. 选定毛坯

根据图样上零件的最大直径、总长尺寸等要求,考虑留有足够的加工余量,选用  $\phi 42 \text{ mm} \times 2715(50+15+50 \times 53) \text{ mm}$  的 45 钢棒料。

#### 3. 装夹定位方案

用三爪自定心卡盘夹持  $\phi 42 \text{ mm}$  的外圆,使工件伸出卡盘  $50 \text{ mm}$ ,零件经一次装夹完成粗、精加工,即可完成加工工序。

#### 4. 工步顺序

1) 粗加工采用矩形切削法,从右到左粗车端面及外圆,留  $0.5 \text{ mm}$  精加工余量( $\phi 42 \times 53$ 、 $\phi 32 \times 38$ 、 $\phi 28 \times 26$ 、 $\phi 24 \times 11$ )。

2) 从右到左精车外圆到尺寸。

3) 切断工件。

#### 5. 选择刀具

根据加工要求,选用三把刀具。T01 为  $90^\circ$  粗车刀;T02 为精加工刀,选尖头车刀;T03 为切断刀,刀宽为  $3 \text{ mm}$ (刀位点设置在左刀尖处)。

将三把刀具在自动换刀导架上安装好,对好刀,将各自的刀偏值由机床面板输入对应的刀具偏移参数中。

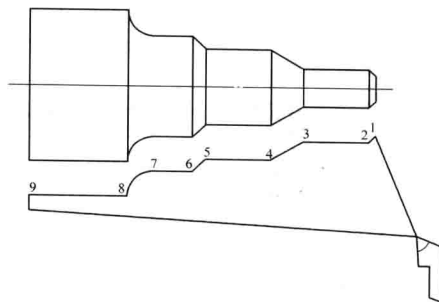
#### 6. 加工路线

粗加工中采用矩形循环进给路线,为精加工留  $0.5 \text{ mm}$  余量;精加工时按照零件轮廓切削。按照上述加工工艺分析制定数控加工工艺卡片,如表 1-1 所示。

表 1-1 阶梯轴数控加工工序卡片

(厂名)	数控加工工艺附图		产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
					阶梯轴	45	
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备		车间	
	0001	三爪自定心卡盘		CK7525A 型数控车床		数控实训中心	

工序简图:



续表

工步号	工步内容	刀具号	刀具名称	主轴转速 /(r/min)	进给量 /(mm/r)	背吃刀量 /mm	量具	备注
1	车端面	T01	外圆车刀	550	0.2	3	0~150 mm 游标卡尺	手动
2	粗车外轮廓	T01	外圆车刀	550	0.4	3	50~75 mm 千分尺	自动
3	精车外轮廓	T02	外圆精车刀	800	0.15	0.5		自动
4	切断	T03	切槽刀					
编 制		审 核		批 准		共 1 页	第 1 页	

### 7. 基点运算

以工件右端面的中心点为编程原点,基点值为绝对尺寸编程值,如表 1-2 所示。

表 1-2 切削加工的基点计算值

mm

基点	1	2	3	4	5	6	7	8
X 坐标值	8	10	10	12	16	16	24	24
Z 坐标值	0	-1	-16	-16	-18	-26	-30	-40

### (二) 数控编程

#### 1. 确定工件坐标系

对于卧式车床,工件坐标系通常设定为工件右端面的中心点处。

#### 2. 确定循环次数

将外轮廓用 G91 编写成子程序。在粗车的下刀点处给出径向精车余量 0.2 mm、轴向精车余量 0.1 mm。X 方向的最大加工余量是  $(30 - 10) \text{ mm} = 20 \text{ mm}$ ,每循环一次子程序,X 方向切除 2 mm 的加工余量,循环 10 次轮廓加工的子程序,完成粗加工。精车最后一次完成。

#### 3. 编写程序

AA01. MPF	毛坯粗加工主程序名
G54 G90 G18 G40 G23 G95	初始化,设定工件坐标系
M03 S600	主轴旋转,转速为 600 r/min
T1D1	换 1 号外圆车刀
G0 X45 Z2	快速定位到工件附件点(45,2)
G1 Z0 F0.25	与端面对齐点(45,0)
X-1	车削端面
G0 X40.5 Z1	快速退刀至直径 $\phi 40.5 \text{ mm}$ 、Z1 处,为精加工留余量 0.5 mm
G1 Z-53	切削总长 53 mm
G1 X45	退刀至直径 $\phi 45 \text{ mm}$
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X38.5	快速进刀至直径 $\phi 38.5 \text{ mm}$

续表

G1 Z - 34	切削外圆长度 34 mm,保留倒角长度余量
G1 X40	退刀至直径 $\phi 40$ mm
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X36.5	快速进刀至直径 $\phi 36.5$ mm
G1 Z - 34	切削外圆长度 34 mm,保留倒角长度余量
G1 X38	退刀至 X38
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X34.5	快速进刀至直径 $\phi 34.5$ mm
G1 Z - 34	切削外圆长度 34 mm,保留倒角长度余量
G1 X36	退刀至直径 $\phi 36$ mm
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X32.5	快速进刀至直径 $\phi 32.5$ mm
G1 Z - 34	切削外圆长度 34 mm,保留倒角长度余量
G10 X34	退刀至直径 $\phi 34$ mm
Z2	快速退刀至 Z2
X30.5	快速进刀至直径 $\phi 30.5$ mm
G1 Z - 26	切削外圆长度 26 mm
G1 X32	退刀至直径 $\phi 32$ mm
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X28.5	快速进刀至直径 $\phi 28.5$ mm
G1 Z - 26	切削外圆长度 26 mm
G1 X38	退刀至直径 $\phi 40$ mm
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X26.5	快速进刀至直径 $\phi 26.5$ mm
G1 Z - 11	切削外圆长度 26 mm
G1 X30	退刀至直径 $\phi 40$ mm
G0 Z2	快速退刀至 Z2
X24.5	快速进刀至 X24.5
G1 Z - 11	切削外圆长度 26 mm
G1 X40	退刀至直径 $\phi 40$ mm
G75 X0 Z0	快速退刀至固定点
T2 D2	换精车刀

G26 S1200	主轴转速上限:1 200 r/min
G0 X22 Z2	快速移动到工件附近 X22、Z2 处
G1 Z0 F0.35	靠近工件表面,准备切削
X24 Z-1	切削倒角 C1
Z-11	切削最小台阶长度到 11 mm
X28 Z-16	切削斜度
Z-26	切削第三台阶长度到 26 mm
X32 Z-28	切削倒角 C2
Z-34	切削第二台阶长度到 34 mm
G2 X40 Z-38 CR=4	切削顺时针圆弧
G1 Z-53	切削最大台阶长度到 53 mm
G0 X40	退刀
G75 X0 Z0	退至固定点
M30	程序结束,复位

### 三、相关实践知识

#### (一) 数控加工工艺文件的编制

编写数控加工工艺文件是数控加工工艺设计的重要内容之一。它既是数控加工、产品验收的依据,又是机床操作要遵守和执行的规程,有时也作为加工程序的附加说明,以使数控操作者更加明确程序的内容、安装及定位方式。

#### (二) 工件的装夹与找正

正确、合理地选择工件的定位与夹紧方式,是保证零件加工精度的必要条件。

##### 1. 常用的装夹方法

##### (1) 在三爪自定心卡盘上装夹

这种方法装夹工件方便、省时、自动定心好,但夹紧力较小,适用于装夹外形规则的中、小型工件。三爪自定心卡盘可安装成正爪或反爪两种形式,反爪用来装夹直径较大的工件,如图1-2所示。

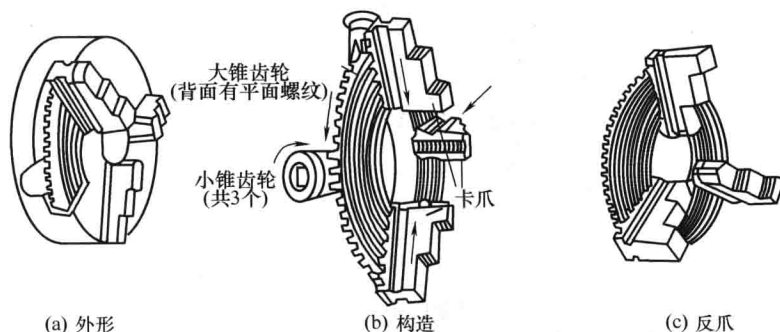


图 1-2 三爪自定心卡盘

## (2) 在两顶尖之间装夹

这种方法安装工件不需找正,每次装夹的精度高,适用于长度尺寸较大或加工工序较多的轴类工件装夹,如图 1-3 所示。

## (3) 用卡盘和顶尖装夹

这种方法装夹工件刚性好,轴向定位准确,能承受较大的轴向切削力,比较安全,适用于车削质量较大的工件,一般在卡盘内装一限位支撑或利用工件台阶限位,防止工件由于切削力的作用而产生轴向位移。

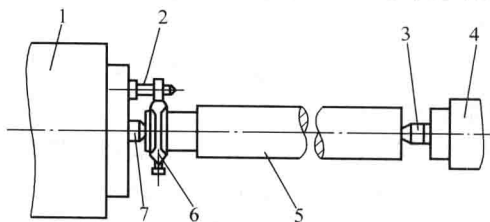


图 1-3 用前后顶尖装夹工件

1—头架; 2—拨杆; 3—尾顶尖; 4—尾座;  
5—工件; 6—夹头; 7—头架顶尖

## 2. 工艺路线的确定

### (1) 加工顺序

工件加工一般按图 1-4 所示加工顺序来完成。

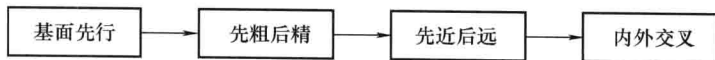


图 1-4 加工顺序的安排

### (2) 进给路线的确定

进给路线是刀具在加工过程中相对于工件的运动轨迹,也称走刀路线。它既包括切削加工的路线,又包括刀具切入、切出的空行程;不但包括了工步的内容,也反映出工步的顺序,是编写程序的依据之一。因此,以图形的方式表示进给路线可为编程带来很大方便。

1) 粗加工路线的确定如图 1-5、图 1-6 所示。

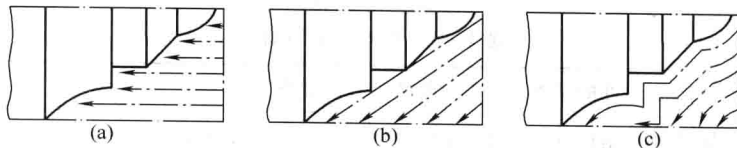


图 1-5 粗加工进给路线

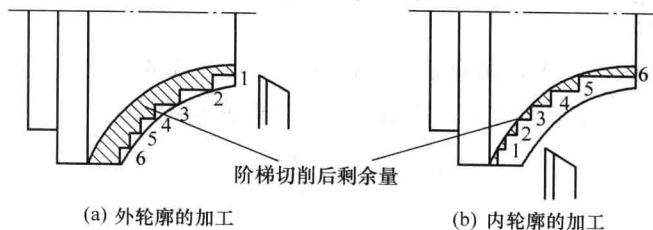


图 1-6 阶梯切削进给路线

2) 精加工进给路线的确定。各部位精度要求一致的进给路线,在多刀进行精加工时,最后一刀要连续加工,并且要合理确定进、退刀位置。尽量不要在光滑连接的轮廓上安排切入和切出或换刀及停顿,以免因切削力变化造成弹性变形,产生表面划伤、形状突变或滞留刀痕的缺陷。

### (三) 选用车刀

数控车床使用的刀具具有焊接式和机夹式之分。目前,机夹式刀具在数控车床上得到了广泛的应用,如图 1-7 所示。选择机夹式刀具的关键是选择刀片,在选择刀片上要考虑以下几点:



- 1) 工件材料的类别 常用材料有黑色金属、有色金属、复合材料、非金属材料等。
- 2) 工件材料的性能 包括硬度、强度、韧性和内部组织状态等。
- 3) 切削工艺类别 包括粗加工、精加工、内孔、外圆加工等。

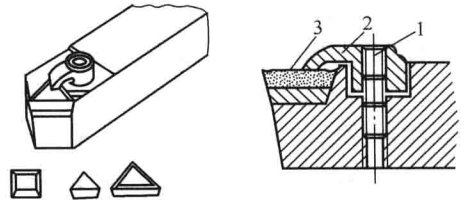


图 1-7 机夹可转位车刀  
1—夹紧螺钉；2—夹紧块；3—刀片

- 4) 零件的几何形状、加工余量和加工精度。
- 5) 要求刀片承受的切削用量。
- 6) 零件的生产批量和生产条件。

#### (四) 车削参数的选择

##### 1. 加工余量的选择

加工余量是指毛坯实际尺寸与零件图样尺寸之差,通常零件要经过粗加工、精加工才能达到图样要求。因此,零件总的加工余量应等于中间工序加工余量之和。在选择加工余量时,要考虑以下几个因素:

- 1) 零件的大小不同。
- 2) 零件在热处理后要发生变形,因此这类零件要适当增大加工余量。
- 3) 加工方法、装夹方式和工艺装备的刚性也会引起零件的变形,所以也要考虑加工余量。



图 1-8 切削用量的确定

##### 2. 切削用量的确定(图 1-8)

###### (1) 背吃刀量的确定(表 1-3)

表 1-3 背吃刀量的确定

通常	在系统刚度允许的情况下,尽量选择较大的背吃刀量
粗加工	在不影响加工精度的条件下,可使背吃刀量等于零件的加工余量,这样可以减少走刀次数
精加工	$Ra0.32 \sim 1.25 \mu\text{m}$ 时,背吃刀量可取 $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$

###### (2) 主轴转速的确定

1) 光车时的主轴转速。主轴转速要根据机床和刀具允许的切削速度来确定,可以用计算法或查表法来选取。切削速度确定之后,用式(1-1)计算主轴转速:

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi D} \quad (1-1)$$

式中: $n$ ——主轴转速,  $\text{r}/\text{min}$ ;

$v_c$ ——切削速度,  $\text{m}/\text{min}$ ;

$D$ ——工件直径,  $\text{mm}$ 。

对于有级变速的车床,要根据计算机选择相近的转速。

在确定主轴转速时,还应考虑以下几点:

- ① 尽量避开产生积屑的速度区域;
- ② 间断切削时,适当降低转速;
- ③ 加工大件、细长工件和薄壁件时,选择低转速;