

# 数控加工生产实例

沈建峰 朱勤惠 主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工生产实例/沈建峰, 朱勤惠主编. —北京:  
化学工业出版社, 2006.9  
ISBN 7-5025-9345-4

I. 数… II. ①沈…②朱… III. 数控机床-加工  
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 109969 号

---

数控加工生产实例

沈建峰 朱勤惠 主编  
责任编辑: 张兴辉 黄滢  
责任校对: 边涛  
封面设计: 韩飞

\*

化学工业出版社出版发行  
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)  
购书咨询: (010)64982530  
(010)64918013  
购书传真: (010)64982630  
<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷  
三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{2}$  字数 358 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9345-4

定 价: 29.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 《数控加工生产实例》编写人员

主编 沈建峰 朱勤惠

参编 陆伟明 周海良 李风云

主审 高建明 陈春荣

# 前 言

随着数控机床的大量使用，社会急需大批熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修的技能型人才。因此，为了适应各类技术人员和技术工人学习和培训的需要，满足技术工人的自学以及技工学校、职业学校的数控教学之用，化学工业出版社组织编写了《数控加工生产实例》一书。该书面向数控、模具行业的岗位要求，按照模块化模式编写，具有紧贴生产实际、内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂的特点。

本书共包括数控车床生产实例、数控铣床/加工中心生产实例和综合加工生产实例 3 篇，重点介绍了实例的加工工艺及该实例的编程知识。每个实例既有独立性，着重介绍几个重点掌握的知识点，并在前面给出提示，内容涵盖了数控车床、数控铣床和加工中心编程与操作技能的绝大部分知识点和技能点外，各实例之间又具有很强的内在联系，以便读者全面掌握数控操作与编程技能，综合运用。

本书由常州技师学院的沈建峰、朱勤惠主编，常州技师学院职业技能鉴定所的高建明、陈春荣主审。武进职教中心（武进高级技工学校）的陆伟明、周海良和李风云参与了本书的编写工作。全书由沈建峰统稿。此外，本书编写过程中借鉴了国内外同行的最新资料与文献并得到常州多棱数控机床厂、上海宇龙仿真软件公司等单位的大力支持，在此一并表示感谢。

限于编者水平有限，书中难免有欠妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 10 月

# 目 录

## 第 1 篇 数控车床生产实例

第 1 章 简单轴类零件加工 .....	3
1.1 圆柱/圆锥类零件的编程与加工 .....	3
1.2 单一形状固定循环加工实例 .....	9
第 2 章 复合固定循环加工工件轮廓 .....	19
2.1 内外圆粗车固定循环加工实例 .....	19
2.2 端面粗车循环加工实例 .....	24
2.3 型车复合循环加工实例 .....	29
2.4 内孔车削加工 .....	34
2.5 外圆槽与端面槽加工 .....	38
第 3 章 螺纹车削 .....	44
3.1 普通三角形螺纹加工实例 .....	44
3.2 梯形螺纹加工实例 .....	56
第 4 章 特殊工件的车削 .....	63
4.1 薄壁工件加工实例 .....	63
4.2 偏心工件加工实例 .....	65
4.3 组合工件的加工实例 .....	71
第 5 章 刀具补偿及子程序在编程中的运用 .....	79
5.1 刀具补偿加工实例 .....	79
5.2 子程序加工实例 .....	86
第 6 章 宏程序编程与自动编程 .....	93
6.1 宏程序编程 .....	93
6.2 自动编程简介 .....	99
第 7 章 数控车床职业技能鉴定编程实例 .....	105
7.1 中级职业技能鉴定实例 .....	105
7.2 高级职业技能鉴定实例 .....	109

## 第 2 篇 数控铣床/加工中心生产实例

第 8 章 数控铣床/加工中心轮廓铣削加工 .....	119
8.1 平面槽铣削加工 .....	119
8.2 外形轮廓铣削加工 .....	126

8.3	子程序铣削加工 .....	132
8.4	外形轮廓综合加工 .....	140
8.5	组合件加工 .....	146
<b>第9章</b>	<b>孔加工固定循环 .....</b>	<b>152</b>
9.1	钻、铰与铰孔加工 .....	152
9.2	镗孔与攻螺纹加工 .....	161
<b>第10章</b>	<b>坐标变换 .....</b>	<b>170</b>
10.1	坐标旋转 .....	170
10.2	坐标镜像与坐标缩放 .....	174
10.3	极坐标 .....	180
<b>第11章</b>	<b>B类宏程序编程与自动编程 .....</b>	<b>183</b>
11.1	宏程序编程 .....	183
11.2	自动编程 .....	190
<b>第12章</b>	<b>数控铣床/加工中心职业技能鉴定编程实例 .....</b>	<b>195</b>
12.1	中级职业技能鉴定样例一 .....	195
12.2	中级职业技能鉴定样例二 .....	199
12.3	高级职业技能鉴定样例一 .....	203
12.4	高级职业技能鉴定样例二 .....	207
12.5	高级职业技能鉴定样例三 .....	208

### 第3篇 综合加工生产实例

<b>第13章</b>	<b>简单工件综合加工实例 .....</b>	<b>211</b>
13.1	凸轮加工 .....	211
13.2	牙嵌式离合器加工 .....	213
<b>第14章</b>	<b>复杂工件综合加工实例 .....</b>	<b>217</b>
14.1	毂加工 .....	217
14.2	模具型心加工 .....	220
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>223</b>

# 第 1 篇

## 数控车床生产实例

# 第 1 章 简单轴类零件加工

## 1.1 圆柱/圆锥类零件的编程与加工

### 1.1.1 编程实例

加工如图 1-1 所示工件（毛坯为  $\phi 40\text{mm}$  的圆钢），试编写其数控车加工程序。

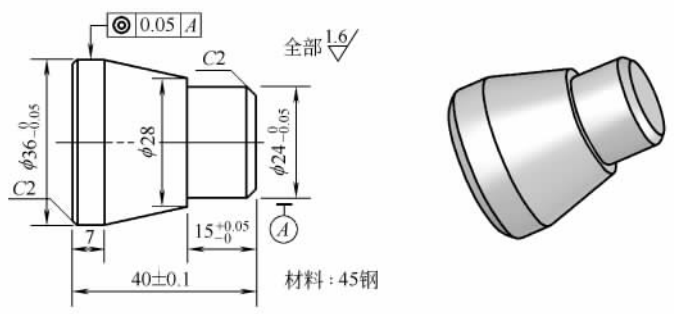


图 1-1 轴类零件加工

知识点与技能点：

- G00、G01、G02、G03 指令简介；
- 数控车床分类及系统简介；
- 数控车床的结构特点；
- 数控加工流程；
- 工件坐标系及对刀方法；
- 标准化程序开头与程序结束。

### 1.1.2 数控车床及其系统简介

#### (1) 数控车床

数控车床的外形与普通车床相似，即由床身、主轴箱、刀架、进给系统、冷却和润滑系统等部分组成。数控车床的进给系统与普通车床有质的区别，传统普通车床有进给箱和交换齿轮架，而数控车床是直接利用伺服电机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架实现进给运动，因而进给系统的结构大为简化。

#### (2) 数控车床的分类

① 按车床主轴位置分类 数控车床根据车床主轴的位置，可分成卧式数控车床（如图 1-2 所示，主轴与水平面平行）和立式数控车床（如图 1-3 所示，主轴与水平面垂直）两类。



图 1-2 卧式数控车床



图 1-3 立式数控车床

② 按功能分类 按其功能，数控车床可分成经济型数控车床、全功能型数控车床、车削加工中心三类。

③ 其他分类方式 除以上的分类方式外，数控车床还可根据加工零件的基本类型、刀架数量、数控系统的不同控制方式等指标进行分类。

### (3) 数控车床的加工对象

与传统车床相比，数控车床比较适合于车削精度要求高、表面粗糙度好、轮廓形状复杂或带一些特殊类型螺纹的零件。

### (4) 数控系统

当前，在数控车床上使用的主流系统有 FANUC（法那科）、SIEMENS（西门子）、三菱、广数、大森、华中等。这些数控系统的编程方法及指令格式基本类似，本书为了方便读者阅读，均以 FANUC Oi 数控系统的规范进行编程。

## 1.1.3 数控车床的结构特点

与传统车床相比，数控车床的结构有以下特点。

① 由于数控车床刀架的两个方向运动分别由两台伺服电动机驱动，所以它的传动链短。

② 多功能数控车床采用直流或交流主轴控制单元来驱动主轴，按控制指令作无级变速，主轴之间不必用多级齿轮副来进行变速。

③ 数控车床的第三个结构特点是轻拖动。刀架移动一般采用滚珠丝杠副，丝杠两端安装专用的滚动轴承，它的压力角比常用的向心推力球轴承要大得多。

④ 为了拖动轻便，数控车床的润滑都比较充分，大部分采用油雾自动润滑。

⑤ 数控车床一般采用镶钢导轨，这样机床精度保持的时间就比较长，其使用寿命也可延长许多。

⑥ 数控车床还具有加工冷却充分、防护较严密等特点，自动运转时一般都处于全封闭或半封闭状态。

⑦ 数控车床一般还配有自动排屑装置。

## 1.1.4 数控加工流程

数控加工流程如图 1-4 所示，主要包括以下几方面的内容。

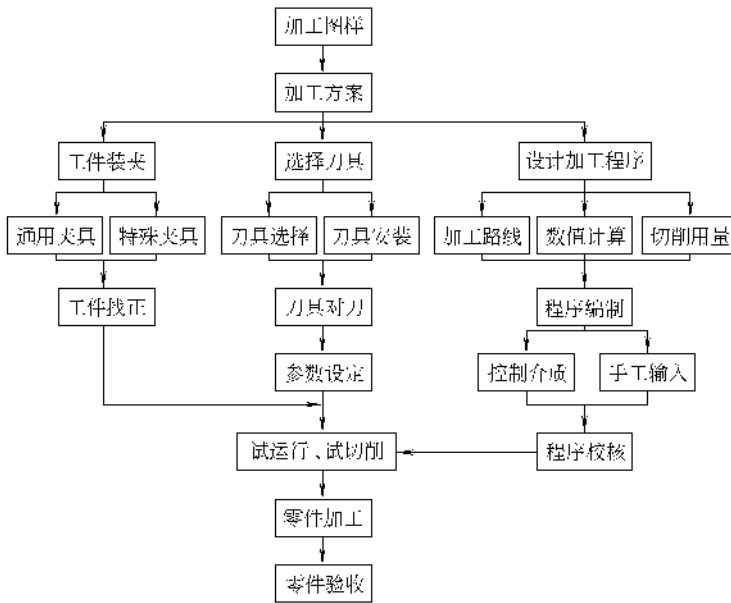


图 1-4 数控加工流程图

① 分析图样，确定加工方案 对所加工的零件进行技术要求分析，选择合适的加工方案，再根据加工方案选择合适的数控加工机床。

② 工件的定位与装夹 根据零件的加工要求，选择合理的定位基准，并根据零件批量、精度及加工成本选择合适的夹具，完成工件的装夹与找正。

③ 刀具的选择与安装 根据零件的加工工艺性与结构工艺性，选择合适的刀具材料与刀具种类，并完成刀具的安装与对刀，并将对刀所得参数正确设定在数控系统中。

④ 编制数控加工程序 根据零件的加工要求，对零件进行编程，并经初步校验后将这些程序通过控制介质或手动方式输入机床数控系统。

⑤ 试切削、试运行并校验数控加工程序 对所输入的程序进行试运行，并进行首件的试切削。试切削一方面用来对加工程序进行最后的校验，另一方面用来校验工件的加工精度。

⑥ 数控加工 当试切的首件经检验合格并确认加工程序正确无误后，便可进入数控加工阶段。

⑦ 工件的验收与质量误差分析 工件入库前，先进行工件的检验，并通过质量分析，找出误差产生的原因，得出纠正误差的方法。

### 1.1.5 工件坐标系及对刀方法

编制数控程序时，首先要建立一个工件坐标系，程序中的坐标值均以此坐标系为依据。工件坐标系的原点选择要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。通常情况下，数控车床的工件坐标系原点都设置在主轴中心线与工件右端面的交点处。

加工时，工件坐标系的建立通过对刀来实现，而且必须保证与编程时的坐标系一致。对刀方法一般有三种，即试切法对刀、光学检测对刀仪对刀和机械检测对刀仪对刀。

① 试切法对刀 试切法对刀是基本对刀方法，这种对刀方式还是没跳出传统车床的“试切—测量—调整”的对刀模式，对刀时间长，且精度受测量误差影响，不易保证。

② 光学检测对刀仪对刀 光学检测对刀仪的对刀过程如图 1-5 所示，对刀时使各刀的刀尖对准对刀镜的十字线中心，以十字线中心为基准，得到各自刀偏量。



图 1-5 光学检测对刀仪对刀

③ 机械检测对刀仪对刀 机械检测对刀仪的对刀过程如图 1-6 所示，这种对刀方式是通过刀尖检测系统来实现的，刀尖以设定的速度向接触式传感器接近，当刀尖与传感器接触并发出信号，数控系统立即记下该瞬间的坐标值，并自动修正刀具补偿值。

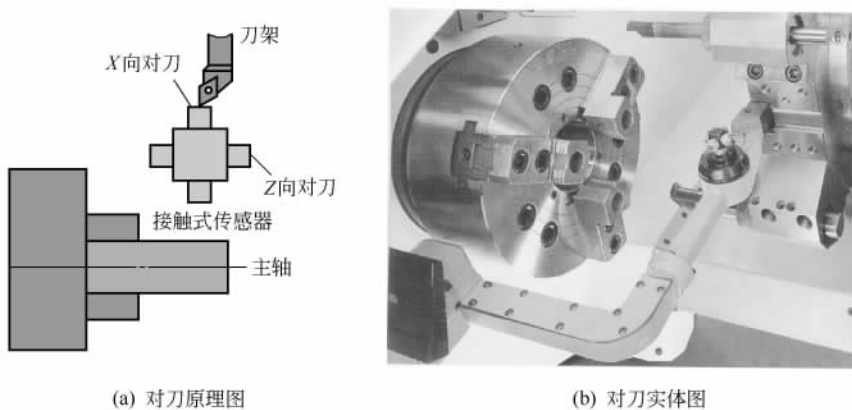


图 1-6 机械检测对刀仪对刀

### 1.1.6 常用插补指令简介

#### (1) 快速定位指令 G00

指令格式  $G00 X(U)\_Z(W)\_;$

$X\_Z\_$  为刀具目标点坐标，当使用增量方式时， $U\_W\_$  为目标点相对于起始点的增量坐标，不运动的坐标可以不写。

该指令使刀具以点定位控制方式从刀具所在点到指定点。G00 指令是模态指令。

#### (2) 直线插补指令 G01

指令格式  $G01 X(U)\_Z(W)\_F\_;$

$X\_Z\_$  为刀具目标点坐标，当使用增量方式时， $U\_W\_$  为目标点相对于起始点的

增量坐标，不运动的坐标可以不写；F\_\_为刀具切削进给的进给速度。

G01 指令是直线运动指令，它命令刀具在两坐标或三坐标轴间以插补联动的方式按指定的进给速度作任意斜率的直线运动。G01 也是模态指令。

### (3) 圆弧插补指令 G02/G03

指令格式 G02 (03) X\_\_Z\_\_R\_\_；

G02 (03) X\_\_Z\_\_I\_\_K\_\_；

X\_\_Z\_\_为圆弧的终点坐标值，其值可以是绝对坐标，也可以是增量坐标。在增量方式下，其值为圆弧终点坐标相对于圆弧起点的增量值。R\_\_为圆弧半径。

I\_\_K\_\_为圆弧起点到圆心在各坐标轴上的增量值。

G02、G03 指令用于指定圆弧插补。其中，G02 表示顺圆插补；G03 表示逆圆插补。圆弧插补的顺逆方向的判断方法是：处在圆弧所在平面（如 ZX 平面）的另一根轴（Y 轴）的正方向看该圆弧，顺时针方向圆弧为 G02，逆时针方向圆弧为 G03。在判断圆弧的顺逆方向时，一定要注意刀架的位置及 Y 轴的方向，如图 1-7 所示。

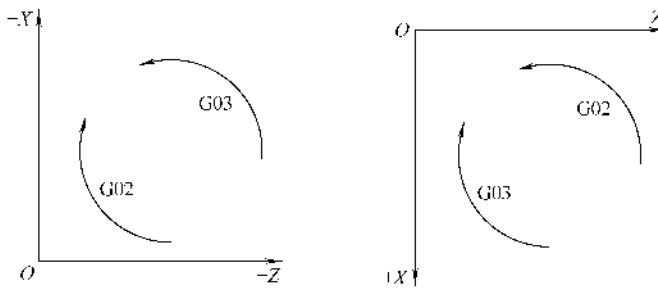


图 1-7 圆弧顺逆判断

## 1.1.7 数控程序的程序开始与程序结束

针对不同的数控系统，其数控程序的程序开始和程序结束是相对固定的，包括一些机床信息，如机床回参考点、工件零点设定、主轴启动、切削液开启等功能。因此，其数控程序的程序开始和程序结束可编写成相对固定格式，其基本格式如下：

```
O0010
N10 G99 G40 G21 G54;           (程序初始化)
N20 G28 U0 W0;                 (回换刀点，为换刀作准备)
N30 T0101;                      (换刀并导入该刀具刀补)
N40 M08;                         (切削液开)
N50 M03 S800;                   (主轴正转，转速 800r/min)
N60 G00 X42.0 Z0.2;             (快速到达起刀点)
.....
N210 G28 U0 W0;                 (返回换刀点)
N220 M05;                        (主轴停转)
N230 M09;                        (切削液关)
N240 M30;                        (程序结束，光标回到起始行)
```

以上程序中，N10~N50 为程序的开始部分，N210~N230 为程序结束部分。在实际书写时，由于程序段号在手工输入过程中会自动生成，因此，程序段号可省略不写。

程序开始与程序结束的刀具轨迹如图 1-8 所示。

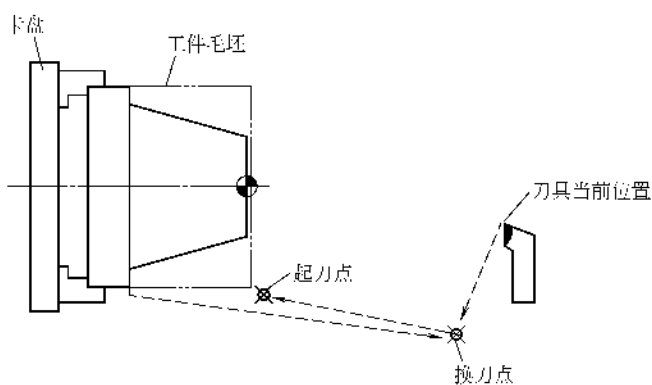


图 1-8 程序开始与程序结束的刀具轨迹

### 1.1.8 编写数控程序（见表 1-1）

表 1-1 图 1-1 编程实例的参考加工程序

刀 具	1号:外圆粗加工刀;2号:外圆精加工刀;3号:外切槽刀(刀宽 4mm) (毛坯:φ36 的棒料)	
程 序 号	加 工 程 序	程 序 说 明
	O0011;	程 序 名
N10	G99 G40 G21 G54;	程序初始化
N20	G28 U0 W0;	刀具回换刀点
N30	T0101;	换 1 号外圆刀,导入该刀具刀补
N40	M08;	切削液开
N50	M03 S500;	主轴正转,转速 500r/min
N60	G00 X45.0 Z0.0;	快速进刀
N70	G01 X-1.0 F0.1;	平端面
N80	G00 X36.2 Z2.0;	快速退刀
N90	G01 Z-44.0F0.2;	粗车外圆(工件长度+切断刀宽度)
N100	G00 X38.0 Z2.0;	快速退刀
N110	X32.2;	进刀
N120	G01 Z-15.0;	粗车外圆
N130	X36.2 Z-24.0;	粗车锥面
N140	G00 Z2.0;	快速退刀
N150	X28.2;	进刀
N160	G01 Z-15.0;	粗车外圆
N170	X36.2 Z-33.0;	粗车锥面
N180	G00 Z2.0;	快速退刀
N190	X24.2;	进刀
N200	G01 Z-15.0;	粗车外圆
N210	G00 X26.0 Z2.0;	快速退刀

刀 具	1号:外圆粗加工刀;2号:外圆精加工刀;3号:外切槽刀(刀宽4mm) (毛坯:φ36的棒料)	
程 序 号	加 工 程 序	程 序 说 明
	O0011;	程 序 名
N220	X20.2;	进刀
N230	G01 Z0.0;	刀尖慢速靠近工件
N240	X24.2 Z-2.0;	粗车倒角
N250	G28 U0 W0;	回换刀点
N260	M03 S1000;	换精加工转速
N270	T0202;	换精加工刀
N280	G00 X20.0 Z2.0;	快速到达精加工起刀位置
N290	G01 X20.0 Z0.0F0.08;	开始精加工
N300	X24.0 Z-2.0;	倒角
N310	Z-15.0;	精加工 φ24×15的外圆
N320	X28.0;	精加工台阶
N330	X36.0 Z-33.0;	精加工外锥面
N340	Z-44.0;	精加工 φ36×7的外圆
N350	X42.0;	退刀
N360	G28 U0 W0;	回换刀点
N370	M03 S350;	换切槽转速
N380	T0303;	换切断刀
N390	G00 X45.0 Z-44.0;	快速定位
N400	G01 X34.0 F0.05;	切浅槽,为倒角作准备
N410	G00 X40.0;	X向退刀
N420	Z-43.0;	Z向退刀
N430	G01 X36.0;	进刀
N440	X34.0 Z-44.0;	切断刀右刀尖倒角
N450	X0.0;	切断
N460	G00 X100.0	X向退刀
N470	G28 U0 W0;	回参考点
N480	M09;	切削液关
N490	M30;	程序结束

注:编程时,请注意模式代码的合理使用。

## 1.2 单一形状固定循环加工实例

固定循环是预先给定的一系列操作,用来控制机床动作,从而完成各项加工。采用固定循环可以简化编程。固定循环可以分为单一形状固定循环和复合形状固定循环两种。

### 1.2.1 编程实例

加工如图 1-9 所示工件(毛坯为 φ36mm 的棒料),试编写其数控车加工程序。

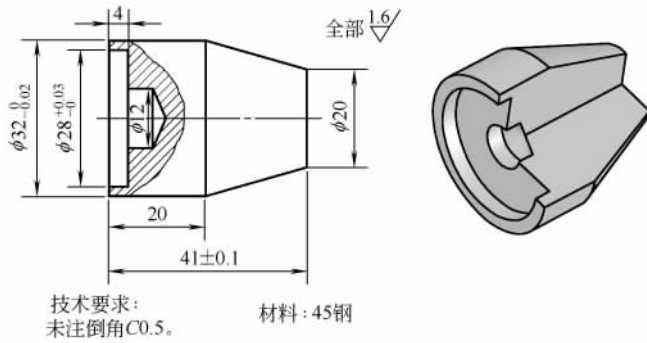


图 1-9 内外径固定循环编程实例

知识点与技能点：

- 固定循环指令 G90、G94 介绍；
- 车圆与车锥加工路线；
- 数控车削刀具的特点；
- 数控车削刀具的分类；
- 机械夹固式车刀简介；
- 常用数控车刀的刀具参数；
- 数控车刀在数控机床刀架上的安装要求。

### 1.2.2 固定循环指令 G90、G94 介绍

#### (1) 外圆切削固定循环 G90

G90 可用于内外圆柱或者圆锥的循环切削。其指令格式与走刀轨迹如图 1-10 及图 1-11 所示。

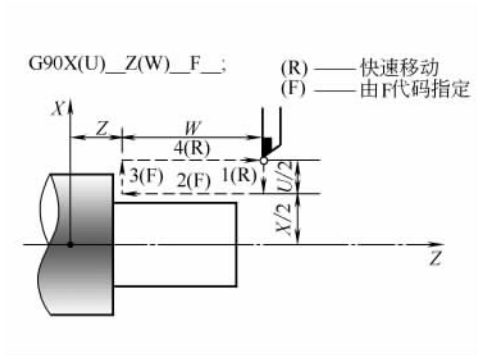


图 1-10 直线切削循环走刀轨迹

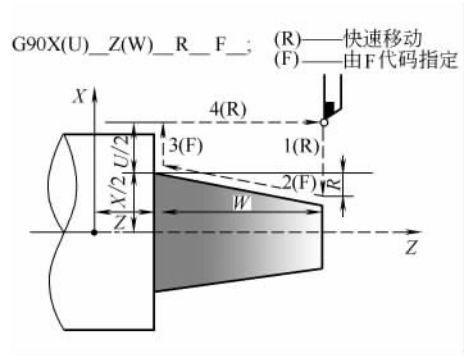


图 1-11 锥形切削循环走刀轨迹

#### (2) 端面切削固定循环 G94

G94 可用于端面或者大锥度的锥面循环切削。其指令格式与走刀轨迹如图 1-12 及图 1-13 所示。

### 1.2.3 车圆与车锥加工路线

#### (1) 加工路线的确定原则

在数控加工中，刀具刀位点相对于零件运动的轨迹称为加工路线。加工路线的确定与工

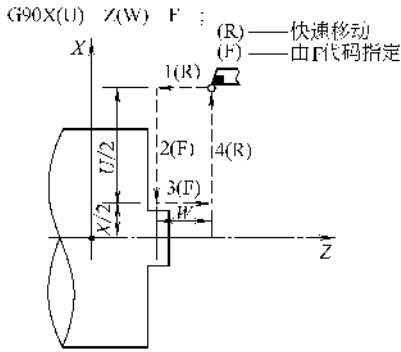


图 1-12 平端面切削循环走刀轨迹

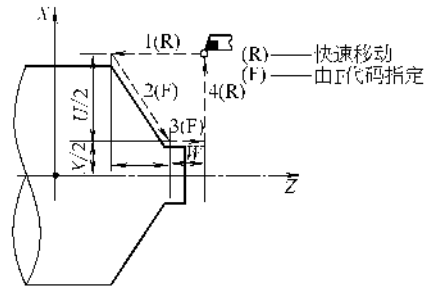


图 1-13 锥面切削循环走刀轨迹

件的加工精度和表面粗糙度直接相关，其确定原则如下：

- ① 加工路线应保证被加工零件的精度和表面粗糙度，且效率较高；
- ② 使数值计算简便，以减少编程工作量；
- ③ 应使加工路线最短，这样既可减少程序段，又可减少空刀时间；
- ④ 加工路线还应根据工件的加工余量和机床、刀具的刚度等具体情况确定。

#### (2) 圆弧车削加工路线

① 车锥法 [图 1-14(a)] 根据加工余量，采用圆锥分层切削的办法将加工余量去除后，再进行圆弧精加工。采用这种加工路线时，加工效率高，但计算麻烦。

② 圆弧偏移法 [图 1-14(b)] 根据加工余量，采用相同的圆弧半径，渐进地向机床的某一坐标轴方向偏移，最终将圆弧加工出来。采用这种加工路线时，编程简便，但空行程较多。

#### (3) 圆锥车削加工路线

圆锥的加工路线也通常有两种，当按照图 1-15(a) 所示加工路线时，刀具每次切削的背吃刀量相等，但编程时需计算刀具的起点和终点坐标。采用这种加工路线时，加工效率高，但计算麻烦。

当按照图 1-15(b) 所示加工路线时，无需计算终点坐标，计算方便，但每次切削过程中，背吃刀量是变化的，从而会引起工件表面粗糙度不一致。

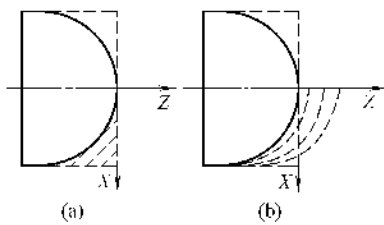


图 1-14 圆弧车削加工方法

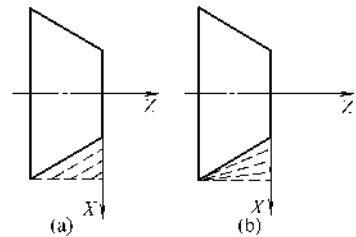


图 1-15 圆锥车削加工方法

### 1.2.4 数控车削刀具的特点与分类

#### (1) 数控车削刀具的特点

为了适应数控机床加工精度高、加工效率高、加工工序集中及零件装夹次数少等要求，数控机床对所用的刀具有许多性能上的要求。与普通机床的刀具相比，数控车床刀具及刀具

系统具有以下特点：

- ① 刀片或刀具的通用化、规则化、系列化；
- ② 刀片或刀具几何参数和切削参数的规范化、典型化；
- ③ 刀片或刀具材料及切削参数需与被加工工件的材料相匹配；
- ④ 刀片或刀具的耐用度高，加工刚性好；
- ⑤ 刀片在刀杆中的定位基准精度高；
- ⑥ 刀杆需有较高的强度、刚度和耐磨性。

## (2) 数控车削刀具的分类

① 根据加工用途分类 车床主要用于回转表面的加工，如圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹、切槽等切削加工。数控车床用刀具可分为外圆车刀、内孔车刀、螺纹车刀、切槽刀等种类。

② 根据刀尖形状分类 数控车刀按刀尖的形状一般分成三类，即尖形车刀、圆弧形车刀和成形车刀，如图 1-16 所示。

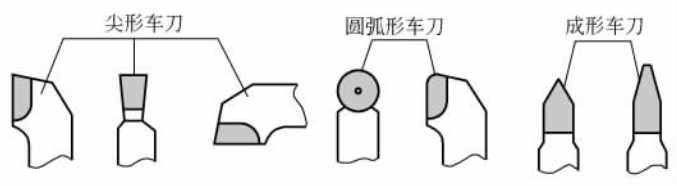


图 1-16 按刀尖形状分类的数控车刀

尖形车刀的刀尖（刀位点）由直线形的主副切削刃相交而成，常用的这类车刀有端面车刀、切断刀、 $90^\circ$ 内外圆车刀等。

圆弧形车刀的主切削刃的刀刃形状为一圆度误差或线轮廓度误差很小的圆弧。由于车刀圆弧刃上的每一点都是刀具的切削点，因此，车刀的刀位点不在圆弧刃上，而在该圆弧刃的圆心上。

成形车刀俗称样板车刀，其加工零件的轮廓形状完全由车刀的刀刃形状和尺寸决定。常用的这类车刀有小半径圆弧车刀、非矩形车槽刀、螺纹车刀等。

在数控车床上，除进行螺纹加工外，应尽量不用或少用成形车刀。

## (3) 根据车刀结构分类

根据车刀的结构，数控车刀又可分为整体式车刀、焊接式车刀和机械夹固式车刀三类，如图 1-17 所示。

整体式车刀 [图 1-17(a)] 主要指整体式高速钢车刀。通常用于小型车刀、螺纹车刀和形状复杂的成形车刀。具有抗弯强度、冲击韧性好，制造简单和刃磨方便、刃口锋利等优点。

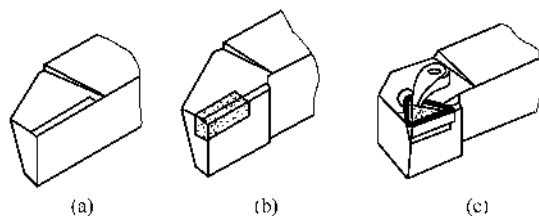


图 1-17 按刀具结构分类的数控车刀