

数控实训教程

SHUKONG SHIXUN JIAOCHENG

主编 何志昌

江西高校出版社

数控实训教程

主 编 何志昌
副主编 曾迎春 熊 明 刘名林

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控实训教程/何志昌主编. —南昌:江西高校出版社, 2009.2

ISBN 978 - 7 - 81132 - 497 - 6

I . 数... II . 何... III . 数控机床 - 教材
IV . TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 013379 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮 政 编 码	330046
总编室电话	(0791)8504319
销 售 电 话	(0791)8591939
网 址	www.juacp.com
印 刷	江西教育印刷厂
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm × 1092mm 1/16
印 张	9.25
字 数	220 千字
版 次	2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
印 数	1 ~ 4000 册
书 号	ISBN 978 - 7 - 81132 - 497 - 6
定 价	18.00 元

版权所有 侵权必究

江西省冶金技师学院教材编审委员会

主任委员:张醒清

副主任委员:张玉明 谢赞忠

委 员:徐裕和 邓沪东 龚令根

杨建华 谢艳平 邓灵波

阮红萍 李宇剑 黄锦文

肖业文

前 言

为适应职业技术教育的教学改革,本着坚持够用、实用的原则,摒弃“繁难偏旧”的理论知识,针对现状,结合江西省冶金技师学院的实际情况编写了这本教材。

本书的特点是:面向职业教育教学,充分考虑学生现状,力求通俗易懂,详略得当。本书以数控加工为主线,围绕着数控机床的编程、操作、加工方面的问题,着重讲述数控车床、数控铣床、加工中心方面的编程、操作、加工的基础知识和技能训练,特别是加强基本技能与核心技能的训练。其中涉及的内容都是以华中世纪新数控系统为标准。

本书共分四章,第一章数控车床编程与操作基础知识、第二章数控车床编程与操作实训、第三章数控铣床编程与操作基础知识、第四章数控铣床编程与操作实训。

本书由何志昌担任主编,曾迎春、熊明、刘名林担任副主编。由何志昌统稿。

在本书的编写过程中,吸纳了许多同仁的宝贵意见和建议,并得到了编者所在单位江西省冶金技师学院相关部门和领导的大力支持与帮助,特此表示衷心的感谢。

数控加工中会遇到各种各样的情况,本书旨在抛砖引玉,使读者在数控加工中遇到问题时有一定的启发。由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请各位专家和读者批评、指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

第一章 数控车床编程与操作基础知识	1
第一节 数控车床概述	1
第二节 零件程序的结构	4
第三节 HNC - 21/22T 数控车床编程指令体系	6
第四节 HNC - 21/22T 数控车床操作	32
第二章 数控车床编程与操作实训	47
第一节 轴类零件加工	47
第二节 螺纹切削加工	49
第三节 套类零件加工	53
第四节 配合零件加工	57
第五节 B 类宏程序编程	61
第三章 数控铣床编程与操作基础知识	65
第一节 数控铣床概述	65
第二节 HNC - 21M 数控铣床编程指令体系	67
第三节 加工中心介绍	87
第四节 数控铣床操作功能	91
第四章 数控铣床编程与操作实训	107
第一节 内、外轮廓加工	107
第二节 孔类零件加工	110
第三节 子程序的应用	112
第四节 凹凸配合件加工	117
第五节 加工中心应用(一)	124
第六节 加工中心应用(二)	129
第七节 Mastercam 自动编程	135

第一章 数控车床编程与操作基础知识

第一节 数控车床概述

一、数控机床编程概述

零件程序是由数控装置专用编程语言书写的一系列指令组成的(应用得最广泛的是 ISO 码:国际标准化组织规定的代码)。

数控装置将零件程序转化为对机床的控制动作。

二、数控机床编程基础知识

(一)机床坐标轴

数控机床的坐标轴和方向的命名制定了统一的标准,规定直线进给运动的坐标轴用 X、Y、Z 表示,常称为基本坐标轴,其相互关系用右手定则规定(如图 1-1 所示)。

围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示,根据右手螺旋定则,以大拇指指向 +X、+Y、+Z 方向,则食指、中指等的指向是圆周进给运动的 +A、+B、+C 方向。

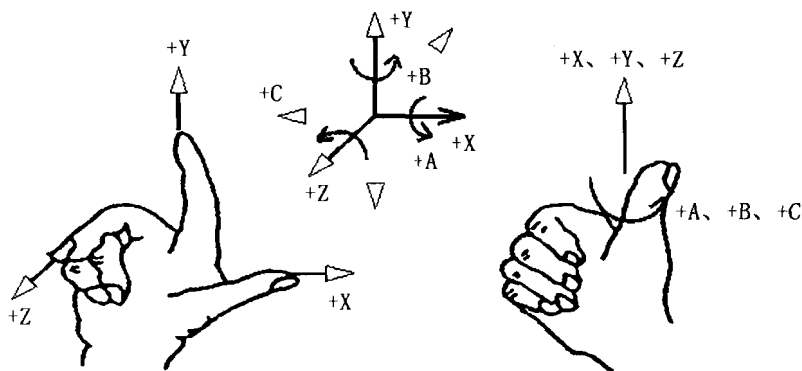


图 1-1 机床坐标轴

上述坐标轴正方向,是假定工件不动,刀具相对于工件做进给运动的方向。如果是工件移动则用加“'”的字母表示,按相对运动的关系,工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反,即有:

$$\begin{aligned} +X &= -X', +Y = -Y', +Z = -Z' \\ +A &= -A', +B = -B', +C = -C' \end{aligned}$$

同样,两者运动的负方向也彼此相反。

例: CJK6032 坐标轴(如图 1-2 所示)。

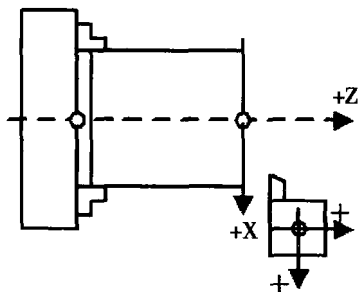


图 1-2 CJK6032 坐标轴

(二) 机床坐标系、机床原点和参考点

机床坐标系是机床固有的坐标系,其原点称作机床原点或机床零点。在机床经过设计、制造和调整后,这个原点便被固定下来。

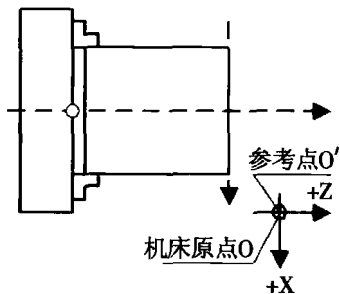


图 1-3 建立机床坐标系

数控装置上电时并不知道机床零点,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(测量起点)。机床启动时,通常要机动或手动回参考点,以建立机床坐标系。

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零点的距离。

(三) 工件坐标系和工件原点

工件坐标系是编程人员在编程时使用的,编程人员选择工件上的某一已知点,建立一个新的坐标系,称为工件坐标系。

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。一般情况下,工件原点(编程原点)应选在尺寸标注基准或定位基准上。对车床编程而言,工件坐标系原点一般选在工件轴线或工件的前端面、后端面、卡爪前端面的交点上。

加工开始时要设置工件坐标系,用 G92 指令可建立工件坐标系;用 G54 ~ G59 及刀具指令可选择工件坐标系。

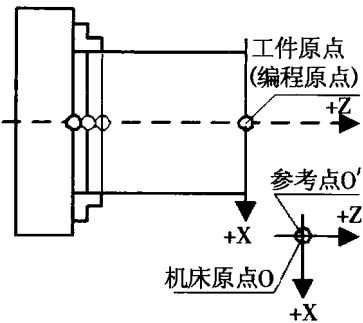


图 1-4 建立工件坐标系

(四)绝对编程与增量编程

绝对编程:用 G90 指令后面的 X、Z 表示 X 轴、Z 轴的坐标值；
增量编程:用 U、W 或 G91 指令后面的 X、Z 表示 X 轴、Z 轴的增量值。

表 1-1 绝对编程和增量编程

绝对编程	增量编程	混合编程
%0001	%0001	%0001
N 1 T0101	N 1 G91	N 1 T0101
N 2 G00 X25 Z2	N 2 G01 X - 17.5 (Z0)	N 2 G00 X25 Z2
N 3 G01 X7.5 (Z2)	N 3 (X0) Z - 32	N 3 G01 X7.5 (Z2)
N 4 (X7.5) Z - 30	N 4 X5 Z - 10	N 4 Z - 30
N 5 X12.5 Z - 40	N 5 X12.5 Z42	N 5 U5 Z - 40
N 6 X25 Z2	N 6 M30	N 6 X25 W42
N 7 M30		N 7 M30

注:车床的默认状态为 G90

(五)直径、半径

表 1-2 直径编程

绝对编程	增量编程	混合编程
%0001	%0001	%0001
N 1 G36	N 1 G36	N 1 G37
N 2 T0101	N 2 G91	N 2 T0101
N 3 G00 X50 Z2	N 3 G01 X - 35 (Z0)	N 3 G00 X25 Z2
N 4 G01 X15 (Z2)	N 4 (X0) Z - 32	N 4 G01 X7.5 (Z2)
N 5 (X15) Z - 30	N 5 X10 Z - 10	N 5 Z - 30
N 6 X25 Z - 40	N 6 X25 Z42	N 6 U5 Z - 40
N 7 X50 Z2	N 7 M30	N 7 X25 W42
N 8 M30		N 8 M30

表 1-3 半径编程

绝对编程	增量编程	混合编程
%0001	%0001	%0001
N 1 G37	N 1 G37	N 1 G36
N 2 T0101	N 2 G91	N 2 T0101
N 3 G00 X25 Z2	N 3 G01 X-17.5 (Z0)	N 3 G00 X50 Z2
N 4 G01 X7.5(Z2)	N 4 (X0) Z-32	N 4 G01 X15(Z2)
N 5 (X7.5) Z-30	N 5 X5 Z-10	N 5 (X15) Z-30
N 6 X12.5 Z-40	N 6 X12.5 Z42	N 6 X25 Z-40
N 7 X25 Z2	N 7 M30	N 7 X50 Z2
N 8 M30		N 8 M30

第二节 零件程序的结构

一、零件程序的概述

一个零件程序是一组被传送到数控装置中去的指令和数据。

一个零件程序是由一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的,而每个程序段是由若干个指令字组成的,如下列所示:

```
%1000
N01 T0101
N02 G00 X100 Z100
N03 M03 S755
N04 X31 Z2
N05 G71 U1.2 R0.6 P10 Q20 X0.5 Z0.2 F100
N...
N200 M30
```

二、指令字的格式

一个指令字是由地址符(即指令字符)和带符号(如定义尺寸字符)或不带符号(如准备功能字 G 代码)的数字数据组成的。

程序段中不同的指令字符及其后续数值确定了每个指令字的含义。在数控程序段中包含的主要指令符见表 1-4。

表 1-4 指令字符一览表

机 能	地 址	意 义
零件程序号	%	程序编号: %1 ~ 4294967295
程序段号	N	程序段编号: N0 ~ 4294967295
准备机能	G	指令动作方式(直线、圆弧等)G00 ~ G99
尺寸字	X、Y、Z	坐标轴的移动命令 ± 99999.999
	A、B、C	
	U、V、W	
	R	圆弧的半径、固定循环的参数
	L、J、K	圆心相对于起点的坐标, 固定循环的参数
进给速度	F	进给速度的指定: F0 ~ 2400
主轴机能	S	主轴旋转速度的指定
刀具机能	T	刀具编号的指定
辅助机能	M	机床侧开/关控制的指定
补偿号	D	刀具补偿号的指定
暂停	P、X	暂停时间的指定
程序号的指定	P	子程序号的指定
重复次数	L	子程序的重复次数、固定循环的重复次数
参数	P、Q、R、U、C、W、I、K、C、A	车削复合循环参数
倒角控制	C、R	

三、零件程序的格式

一个程序段定义一个将由数控装置执行的指令行。

程序段的格式定义了每个程序段中功能字的句法,程序段格式如下所示:

N... G... X... F... M... S...

N:程序段号 G:准备机能 X:尺寸字

F:进给速度 M:辅助机能 S:主轴机能

四、零件程序的一般结构

一个零件程序必须包括起始符和结束符。

一个零件程序是按程序段的输入顺序执行的,而不是按程序段号的顺序的,但书写程序时,建议按升序书写程序段号。

例:华中世纪星系统 HNC-21T 的程序结构:

程序起始符: %(或 O)符, %(或 O)后跟程序号;

程序结束符: M02 或 M30;

注释符: 括号内或分号后的内容为注释文字。

五、程序的文件名

CNC 装置可以装入许多程序文件,以磁盘文件的方式读写。文件名格式为:0××××(四位数字或字母)

第三节 HNC-21/22T 数控车床编程指令体系

一、辅助机能 M 指令

辅助机能由 M 和其后的一或二位数字组成,主要用于控制零件程序的走向,以及机床各种辅助机能的开关动作。

表 1-5 常见 M 指令一览表

指令	机 能	说 明	备注
M00	程序暂停	执行 M00 后,机床所有动作均被切断,重新按程序启动按键后,再继续执行后面的程序段	
M01	任选暂停	执行过程和 M00 相同,只是在机床控制面板上的“任选停止”开关置于接通位置时,该指令才有效	
M03	主轴正转		
M04	主轴反转		
M05	主轴停		
M07	切削液开		
M09	切削液关		
M30	主程序结束	切断机床所有动作,并使程序复位	
M98	调用子程序	其后 P 地址指定子程序号,L 地址指定调运次数	
M99	子程序结束	子程序结束,并返回到主程序中 M98 所在程序行的下一行	

二、主轴机能 S、进给速度 F、刀具机能 T 指令

(一) 主轴机能 S 指令

1. 转/每分钟(M03 后)
2. 米/每分钟(G96 恒线速有效)
3. 转/每分钟(G97 取消恒线速)

(二) 进给机能 F 指令

1. 每分钟进给(G94)
2. 每转进给(G95)

(三) 刀具机能 T 指令

T 用于选刀,其后的四位数字分别表示选择的刀具号和刀具补偿号(补偿功能将在后面

详述)。T 指令可以直接设立坐标系。例如:

%0012

N01 T0101 (此时换刀,设立坐标系,刀具不移动)

N02 G00 X45 Z0 (当有移动性指令时,加入刀偏)

N03 G01 X10 F100

N04 G00 X80 Z30

N05 T0202 (此时换刀,设立坐标系,刀具不移动)

N06 G00 X40 Z5 (当有移动性指令时,执行刀偏)

N07 G01 Z-20 F100

N08 G00 X80 Z30

N09 M30

三、准备机能 G 指令

准备机能 G 指令由 G 后一或二位数值组成,它用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。

没有共同地址符的不同 G 代码可以放在同一程序段中,而且与顺序无关。如 G90、G17、G01 可放在同一程序段。

表 1-6 常见 G 指令一览表

代码	组号	意义	代码	组号	意义
G00	01	快速定位	G57	11	零点偏置
G01		直线插补	G58		
G02		圆弧插补(顺时针)	G59		
G03		圆弧插补(逆时针)	G65	00	宏指令简单调用
G04	00	暂停延时	G66	12	宏指令模态调用
G20	08	英制输入	G67		宏指令模态调用取消
G21		公制输入	G90	13	绝对编程
G27	00	参考点返回检查	G91		增量编程
G28		返回到参考点	G92	00	坐标系设定
G29		由参考点返回	G80	01	内、外径车削单一固定循环
G32	01	螺纹切削	G81		端面车削单一固定循环
G40	09	刀具半径补偿取消	G82		螺纹车削单一固定循环
G41		刀具半径左补偿	G94	14	每分钟进给
G42		刀具半径右补偿	G95		每转进给
G52	00	局部坐标系设定	G71	06	内、外径车削复合固定循环
G54	11	零点偏置	G72		端面车削复合固定循环
G55			G73		封闭轮廓车削复合固定循环
G56			G76		螺纹车削复合固定循环

(一)有关单位设定的 G 指令

1. 尺寸单位选择 G20 和 G21 指令

G20 英制输入(单位 in)

G21 公制输入(单位 mm)

2. 进给量的设定 G94 和 G95 指令

G94 每分钟进给

G95 每转进给

(二) 坐标系相关的 G 指令

1. 绝对编程 G90 与增量编程 G91

G90: 每个编程坐标轴上的编程值是相对于程序原点的。

G91: 每个编程坐标轴上的编程值是相对于前一个位置而言的, 该值等于沿轴移动的距离。

绝对编程: 用 G90 指令后面的 X、Z 表示 X 轴、Z 轴的坐标值;

增量编程: 用 U、W 或 G91 指令后面的 X、Z 表示 X 轴、Z 轴的增量值。

注意:

① 车床的默认状态为 G90;

② 表示增量的字符 U、W 不能用于循环指令 G80、G81、G82、G71、G72、G73、G76 程序段中, 但可用于定义精加工轮廓的程序中。

2. 坐标系设定 G92 指令

格式: G92 X₀ Z₀

说明: X、Z: 设定的工件坐标系原点到刀具起点的有向距离。

G92 指令通过设定刀具起点(对刀点)与坐标系原点的相对位置建立工件坐标系, 执行此程序段时刀具并不产生运动。

X、Z 取值原则:

- 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。

3. 零点偏置(坐标系选择)G54 ~ G59 指令

G54 ~ G59 是系统预定的 6 个坐标系, 可根据需要任意选择。

格式: G54 X₀ Z₀ (以 G54 为例)

说明: X、Z 表示工件坐标原点在机床坐标系中的坐标值。

工件坐标原点在机床坐标系中的坐标值可用 MDI 方式输入, 系统自动记忆。

4. 直接机床坐标系编程 G53 指令

格式: G53 X₀ Z₀

说明: X、Z 表示在直接机床坐标系中的坐标值。

(三) 进给控制相关的 G 指令

1. 快速点定位 G00 指令

格式: G00 X(U)₀ Z(W)₀

说明:

X、Z:为绝对编程时,快速定位终点在工件坐标系中的坐标。

U、W:为相对编程时,快速定位终点相对于起点的位移量。

G00 时,X、Z 轴分别以该轴的快进速度向目标点移动,行走路线通常为折线。

G00 时,轴移动速度不能由 F 代码来指定,只受快速修调倍率的影响。

一般,G00 代码段只能用于工件外部的空程行走,不能用于切削行程中。如图 1-5, A 到 C 点:

%1008

T0202

G00 X90 Z253

G00 X30 Z173

X90 Z253

M05

M30

2. 直线插补 G01 指令

格式:G01 X(U) _ Z(W) _ F _

说明:

X、Z:G90 时为终点在工件坐标系中的坐标;G91 时为终点相对于起点的位移量。

U、W:为相对编程时终点相对于起点的位移量。

F:合成进给速度。

G01 指令刀具以联动的方式,按 F 规定的合成进给速度,从当前位置按线性路线(联动直线轴的合成轨迹为直线)移动到程序段指令的终点。如图 1-6, A 到 C 点:

%1008

T0303

G00 X90 Z253

G90 G01 X30 Z173 F100

G00 X90 Z253

M05

M30

3. 圆弧插补 G02、G03 指令

(1)插补方向的判断(如图 1-7 所示)。

顺时针或逆时针是观察者沿着第三轴的负方向看来判断的。

(2)圆弧插补加工(如图 1-8 所示)。

格式: $\left. \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X(U) _ Z(W) _ \left\{ \begin{matrix} I _ K _ \\ R _ \end{matrix} \right\} F$

说明:

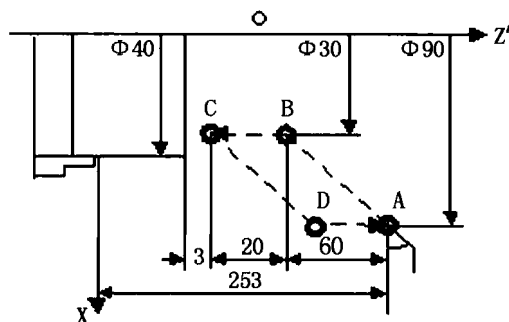


图 1-5 G00 编程

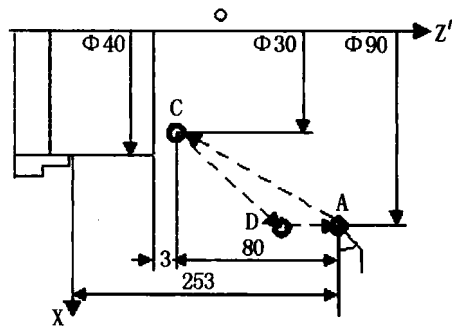


图 1-6 G01 编程

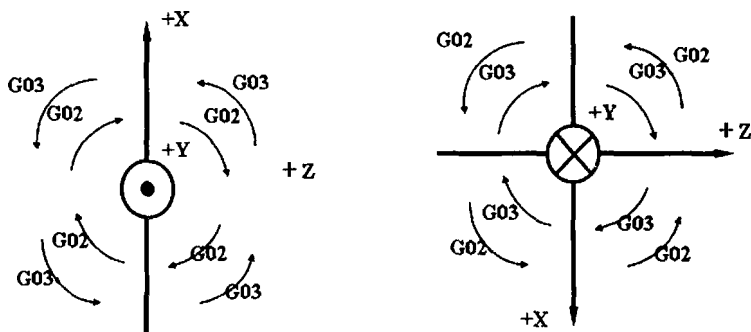


图 1-7 G02/G03 插补方向

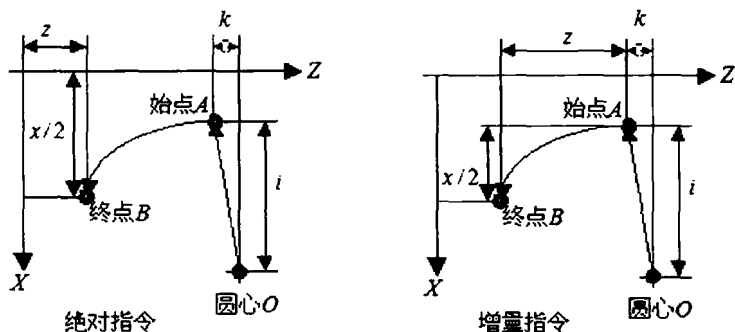


图 1-8 始点向终点圆弧插补加工

G02、G03 时,刀具相对工件以 F 指令的进给速度从当前点向终点进行插补加工,G02 为顺时针方向圆弧插补,G03 为逆时针方向圆弧插补。

圆弧半径编程时,当加工圆弧段所对的圆心角为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 时,R 取正值;当圆心角为 $180^\circ \sim 360^\circ$ 时,R 取负值。同一程序段中 I、K、R 同时指令时,R 优先,I、K 无效。

无论用绝对还是用相对编程方式,I、K 都为圆心相对于圆弧起点的坐标增量,为零时可省略。

整圆编程时不可以用 R,只能用 I、K。

例:用圆弧插补指令编程(如图 1-9 所示)。

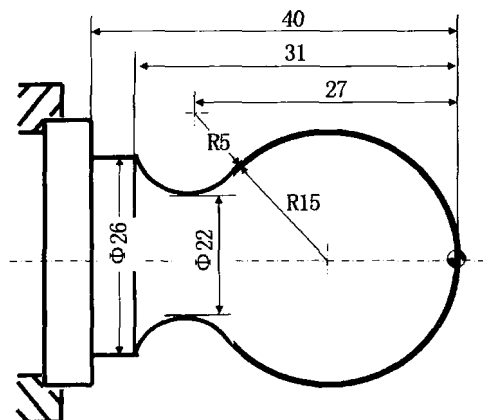


图 1-9 G02/G03 编程实例

参考程序:

%3309

N1 T0404 (换 4 号刀,并建立工件坐标系)

N2 G00 X40 Z5 (快速定位到起刀点)

N3 M03 S400 (主轴以 400r/min 旋转)

N4 G00 X0 (达到工件中心)

N5 G01 Z0 F60 (工进接触工件毛坯)

N6 G03 U24 W-24 R15 (加工 R15 圆弧段)

N7 G02 X26 Z-31 R5 (加工 R5 圆弧段)

N8 G01 Z-40 (加工直径 26 外圆)

N9 X40 Z5 (回起刀点)

N10 M30 (主轴停、主程序结束并复位)

4. 螺纹加工 G32 指令

格式:G32 X(U)_Z(W)_R_E_P_F_

说明:

X、Z:螺纹终点,在 G90 时为有效螺纹终点在工件坐标系中的坐标;G91 时为有效螺纹终点相对于螺纹切削起点的位移量。

U、W:为有效螺纹终点相对于螺纹切削起点的位移量。

F:螺纹导程,即主轴每转一圈,刀具相对于工件的进给量。

R、E:螺纹切削的退尾量,R 表示 Z 向退尾量,E 为 X 向退尾量;R、E 在 G90 或 G91 时都是以增量方式指定,其为正表示沿 X、Z 正向回退,为负表示沿 X、Z 负向回退。使用 R、E 可以免去退刀槽。根据螺纹标准 R 一般取 2 倍的螺距,E 取螺纹的牙型高。

P:主轴基准脉冲处距离螺纹切削起点的主轴转角。

例:使用 G32 指令加工圆柱螺纹、锥螺纹和端面螺纹(如图 1-10 所示)。

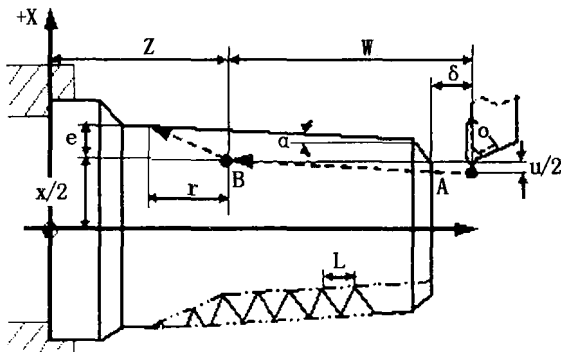


图 1-10 螺纹切削参数

注意:

- ① 螺纹加工轨迹中应设足够的升速段和降速退刀段,以消除伺服滞后的螺距误差;
- ② 在螺纹切削过程中进给修调无效;
- ③ 螺纹加工时主轴必须旋转。从粗加工到精加工,主轴的转速必须保持一常数;在没有