

技术能手传经送宝丛书




FANUC 0i

数控车床/加工中心 编程实例及计算技巧

SHUKONG CHECHUANG JIAGONG ZHONGXIN
BIANCHENG SHILI JI JISUAN JIQIAO

何贵显◎主编

- 一线技术能手收集整理，生产一线四十多个典型实例。
- 数控编程计算技巧全揭秘，涉及勾股定理、三角函数、反三角函数、定比分点公式、极坐标系、直角坐标系和极坐标系的转换、角度的旋转、直线和圆相切的切点计算、直线和圆相交的交点计算、直线和直线的交点计算、直线和椭圆的交点计算、直线和双曲线的交点计算、平行线间的距离公式、两圆相交交点的计算、两点间的距离公式、两圆外切时切点的计算、两圆内公切线切点的计算、两圆外公切线切点的计算、梯形螺纹宏程序……一书在手，计算无忧。

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

技术能手传经送宝丛书

FANUC 0i 数控车床/加工中心 编程实例及计算技巧

何贵显 主编

机械工业出版社

本书选择在企业里应用最广泛、编程最具代表性的 FANUC Series 0i - TC/TD 数控车床系统、0i - MC/MD 加工中心系统作为范本进行讲解，分为数控车床和加工中心两个部分，共包括作者亲自加工及收集的实际生产中的四十多个编程实例。

本书可供刚入门的数控编程、操作人员使用，也可作为职业院校数控专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 0i 数控车床/加工中心编程实例及计算技巧/何贵显主编.

—北京: 机械工业出版社, 2018. 12

(技术能手传经送宝丛书)

ISBN 978-7-111-62132-4

I. ①F… II. ①何… III. ①数控机床-铣床-程序设计 ②数控机床-铣床-加工 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 038040 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: 王晓洁 责任编辑: 王晓洁

责任校对: 张 薇 封面设计: 马精明

责任印制: 郜 敏

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2019 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 9.25 印张 · 245 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-62132-4

定价: 39.80 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

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

近几十年来，数控机床在我国发展很快。学习操作数控机床时，指令含义及其格式用法相对来说是比较简单的，死记硬背就行了。对于图样，需要把图样上的工件材料、倒角、表面粗糙度、几何公差、基准面等各类技术要求等信息转换为机床语言，除了刀片的选择、加工工艺要求、切削三要素之外，有些图样上还设置了“障碍”，需要计算节点的坐标，不少初学者往往都在这里“卡壳”。因为，很多操作工对数学知识的掌握有限。勾股定理、三角函数、反三角函数、定比分点公式、极坐标系、直角坐标系和极坐标系的转换、角度的旋转、直线和圆相切的切点计算、直线和圆相交的交点计算、直线和直线的交点计算、直线和椭圆的交点计算、直线和双曲线的交点计算、平行线间的距离公式、两圆相交交点的计算、两点间的距离公式、两圆外切时切点的计算、两圆内公切线切点的计算、两圆外公切线切点的计算……如何才能拨云揭雾、化繁为简？目前，市面上相关图书很少，很多人想要提高自己的水平，但苦于入门无路。有鉴于此，我们编写了本书。

作者从2007年8月毕业到现在，先后操作过国内外10个品牌20多个系列的数控系统，其编程操作方法大同小异，各有特点。本书选择在企业里应用最广泛、编程最具代表性的FANUC Series Oi-TC/TD数控车床系统、Oi-MC/MD加工中心系统作为范本进行讲解，全都是实例。作者积多年经验编写了本书，希望能给初学者以参考，给从业者以借鉴。

本书由何贵显主编，参加本书编写的还有王金宝、赵刚和常健。

饮水思源，感念不忘！感谢政府的“阳光工程”，感谢枣庄市台儿庄区人力资源和社会保障局黄礼辉老师，感谢青岛科技大学穆孝亮老师，感谢众多网友的支持与帮助。书中错误及疏漏之处，敬请广大读者和同行不吝指正。

编 者

目 录

前 言

数控车床篇	1
例 1-1 简单套类零件的加工 (长棒料加工成小件, 装夹时的计算及编程技巧)	1
例 1-2 小轴的加工 (长棒料加工成小件, 下料时的计算)	3
例 1-3 三角形螺纹轴的加工 (1) (锥度相关的计算)	5
例 1-4 三角形螺纹轴的加工 (2) (勾股定理的应用)	8
例 1-5 法兰盘的加工 (三角函数的应用)	10
例 1-6 酒杯形状零件的加工 (G71 指令定位点的注意事项)	13
例 1-7 锥齿轮坯的加工 (三角函数的应用)	15
例 1-8 葫芦形状工件的加工 (G73 指令中 X 轴粗车退刀量的设定)	18
例 1-9 复合件的加工 (1) (圆弧相关的计算)	19
例 1-10 复合件的加工 (2) (圆弧的疑惑)	22
例 1-11 圆弧连接类工件的加工 (能用 G71 指令的尽量少用 G73 指令)	25
例 1-12 轴类件的加工 (定比分点公式求外切圆切点)	29
例 1-13 复合件的加工 (直线和圆的方程联立求交点坐标)	33
例 1-14 盘类工件的加工 (勾股定理的应用)	37
例 1-15 螺纹轴的加工 (斜线和圆相切, 切点的计算 1)	40
例 1-16 轮毂的加工 (斜线和圆相切, 切点的计算 2)	43
例 1-17 隔环的加工 (斜线和圆相切, 切点的计算 3)	46
例 1-18 “葫芦”的加工 (圆弧与相交直线相切, 切点的计算)	52
例 1-19 沟槽类工件的加工 (子程序的应用技巧)	56
例 1-20 小套的加工 (三角函数、勾股定理的应用)	58
例 1-21 螺母的加工 (椭圆线段步距 1)	60
例 1-22 复合件的加工 (椭圆线段步距 2)	63
例 1-23 数控大赛复合件的加工 (椭圆线段步距 3)	67
例 1-24 椭圆复合件的加工 (椭圆角度步距)	72
例 1-25 抛物线工件的加工 (抛物线线段步距)	76
例 1-26 双曲线工件的加工 (双曲线线段步距)	78
例 1-27 梯形内螺纹的加工 (普通程序分层借刀法)	83
例 1-28 梯形外螺纹的加工 (普通程序分层借刀法)	84
例 1-29 梯形外螺纹的加工 (宏程序分层借刀法)	87
例 1-30 梯形内螺纹的加工 (宏程序分层借刀法)	90
数控铣床 加工中心篇	92
例 2-1 镗孔 (直线和圆相交, 交点的计算)	92

例 2-2 法兰盘上的螺纹孔加工 (极坐标系的应用)	95
例 2-3 圆盘上成组的螺纹孔加工 (三角函数、极坐标系的应用)	99
例 2-4 异心圆弧工件的加工 (直线和圆相交交点的计算)	103
例 2-5 螺纹孔的加工 1 (反三角函数的应用)	110
例 2-6 螺纹孔的加工 2 (坐标系旋转及坐标系转换的应用)	113
例 2-7 四角圆弧过渡矩形内腔 (子程序应用)	117
例 2-8 三角形顶端圆弧过渡凸台的加工 (平行线方程及垂直直线交点的计算)	120
例 2-9 圆弧连接类工件的加工 (圆弧和直线的圆弧过渡连接, 切点的计算)	122
例 2-10 花状外轮廓的加工 (两圆交点的计算)	123
例 2-11 圆弧曲线外轮廓工件的加工 (两圆内公切线切点的计算)	125
例 2-12 跑道类工件的加工 (两圆外公切线切点的计算)	128
例 2-13 等分偏心圆弧槽工件的加工 (三角函数的应用)	130
例 2-14 “8” 字形状的内轮廓加工 (两圆交点的计算)	133
附录	135
附录 A 三角函数关系	135
附录 B 数控操作面板常用术语英汉对照	137
附录 C 非完全平方数二次根式的计算方法	139

数控车床篇

例 1-1 简单套类零件的加工（长棒料加工成小件，装夹时的计算及编程技巧）。

简单的套类零件如图 1-1 所示。该零件的毛坯外径为 $\phi 26\text{mm}$ 、内径为 $\phi 12\text{mm}$ 的长管，材料为 45 钢，试编写其加工程序。

工艺及数学分析：

这样的长管状毛坯，如果一道程序只加工一个工件，主轴起停会很频繁；该套类零件很短，不如一次伸出卡盘能加工 3 个工件的长度，即 $3 \times (\text{工件长度 } 22.5\text{mm} + \text{切断刀刀宽 } 3\text{mm} + \text{平端面加工量 } 0.5\text{mm}) + \text{最后切断时的伸出卡盘量 } 4\text{mm}$ ，即伸出卡盘 82mm 长，一次性加工 3 个工件，然后再装卸工

件，这样省时省力。用钢直尺测量，要记得每次伸出卡盘同样的长度，以免空走刀或碰撞，在每次加工第一个工件时，要观察一下，遇到情况及时按下急停按钮。由于切断刀的损坏率较高，在装夹切断刀时要注意刀尖高度是否和主轴旋转中心等高，切削刀与 Z 轴是否平行；在使用切断刀加工时，听到异常声音要及时按下急停按钮，如果刀片损坏没有及时发现，将会导致刀柄上装夹刀片的夹持座也一起损坏，使刀柄失去使用价值。

注意事项：

把剩下的料头集中起来，能加工两个工件的，把工件伸出卡盘 56mm 长，在 N10 前添加 N2 行，加工完这些料头之后删除；能加工 1 个工件的，把工件伸出卡盘 30mm 长，在 N10 前添加 N4 行，加工完这些料头之后删除。

参考主程序如下：

O0010；

G99 G97；

设定程序中使用每转进给量，恒转速

(N2 GOTO 30;)

(N4 GOTO 50;)

N10 G10 L2 P0 X0 Z0；

在程序中设定 EXT 坐标系为 X0 Z0，即 X 轴、Z 轴均未偏移

N20 M98 P11；

调用 O0011 子程序 1 次

N30 G10 L2 P0 X0 Z -26.；

在程序中设定 EXT 坐标系为 X0 Z -26.，即 Z 轴偏移 -26mm

N40 M98 P11；

调用 O0011 子程序 1 次

N50 G10 L2 P0 X0 Z -52.；

在程序中设定 EXT 坐标系为 X0 Z -52.，即 Z 轴偏移 -52mm

N60 M98 P11；

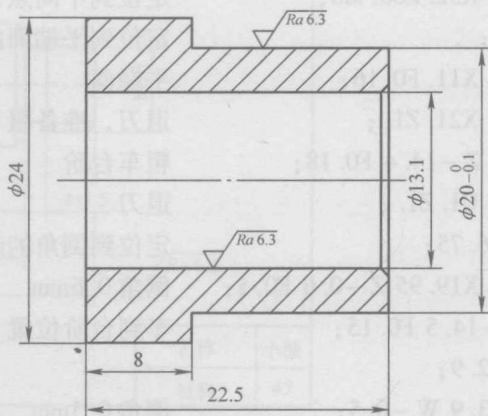
调用 O0011 子程序 1 次

M9；

M5；

G10 L2 P0 X0 Z0；

别忘记恢复原来 EXT 坐标系里的值



注：未注倒角 C0.5。

图 1-1 简单的套类零件

M30;

参考子程序如下:

O0011;

T101 M3 S900;	换上外圆车刀
G0 X32. Z60. M8;	定位到中间点, 打开切削液
Z0;	定位到平端面的起点
G1 X11. F0. 16;	平端面
G0 X21. Z1. ;	退刀, 准备粗车台阶
G1 Z - 14. 4 F0. 18;	粗车台阶
G0 U1. Z1. ;	退刀
X16. 75;	定位到倒角的起点
G1 X19. 95 Z - 0. 6 F0. 1;	倒角 0. 6mm
Z - 14. 5 F0. 15;	车到台阶位置
X22. 9;	
X23. 9 W - 0. 5;	倒角 0. 5mm
Z - 26. ;	多车了 3. 5mm, 给切断刀留出工作面
G0 X60. Z100. ;	退刀
T202 M3 S600;	换上小内孔车刀, 刀尖伸出刀架 30mm
G0 X16. 1 Z50. ;	定位到中间点
Z1. ;	定位到内孔倒角的起点
G1 X13. 1 Z - 0. 5 F0. 1;	内孔倒角 0. 5mm
Z - 24. F0. 15;	车内孔
G0 U - 1. Z1. ;	退刀到孔口; 孔小, 径向退一点就行
X60. Z100. ;	退刀到安全位置
T303 M3 S600;	换上切断刀, 切削刃宽 3mm, 左刀尖为刀位点
G0 X26. Z60. ;	定位到中间点
Z2. ;	接近工件
Z - 25. 5;	定位到切断位置
G1 X11. F0. 12;	切断
G0 X30. ;	退刀, 脱离工件
X80. Z120. ;	退刀到换刀点
T101;	换上程序中的第一把刀
M99;	返回主程序

细节提示:

1) 实现类似的加工轨迹的编程方法还有多种: 设定 3 个不同的坐标系, 每把刀调用 3 个不同的偏置值, 用 G50、G52 指令等, 读者可以根据实际情况选择使用。

2) 在加工长棒料时, 应优先选用与工件接触面积大、接触长度长的一副卡爪, 以保证足够的夹紧力, 避免强力切削时工件沿轴向位移。

3) 在一个主程序中, 如果需要多次调用同一个子程序加工多个工件时, 主轴只需起停一次即可, 因此在子程序的 M99 前不需要编写 M5。

例 1-2 小轴的加工（长棒料加工成小件，下料时的计算）。

小轴零件如图 1-2 所示。该零件的毛坯是 $\phi 40\text{mm}$ 、长度为几米的棒料，材料为 45 钢，试编写其加工程序。

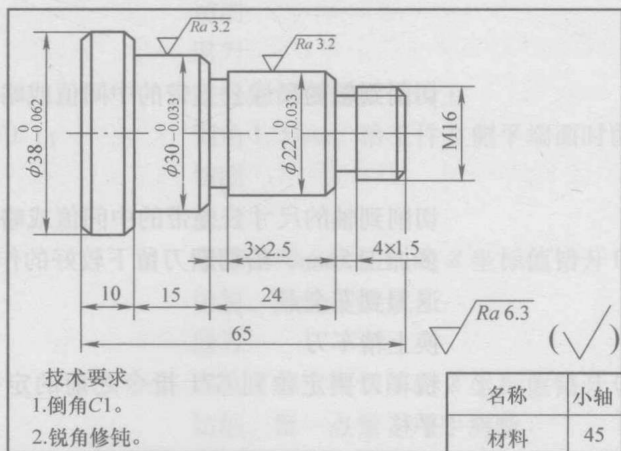


图 1-2 小轴零件

工艺及数学分析：

毛坯是 $\phi 40\text{mm}$ 、长度为几米的棒料，无法夹持。用切割机或带锯下料时要注意，下料的长度为：（精加工尺寸长度 + 切断刀刃宽 + 0.5 ~ 1mm 的两端平面余量）的整数倍 + 最后一个工件在卡爪端面内的夹持长度 + 4 ~ 6mm，这样才能不浪费材料。装夹时以主轴孔末端伸出卡盘不长为宜，如有需要，可以在主轴孔末端塞紧一个木制或尼龙制塞子，中间有孔刚好能让棒料顺利通过。装夹时工件伸出卡盘端面 73 ~ 75mm 长，夹紧、加工完一个工件之后，松开卡爪，用钢直尺或左端在 0 位剪齐的钢卷尺段对照着去装夹工件，在夹紧时需要再次测量一下，以避免在工件倾斜于主轴孔的情况下，夹紧时工件位移带来误差。伸出卡盘的长度要和下个班交接好，以免碰撞或欠切。

这个小轴加工起来是很简单的，参考程序如下：

O0010;

G99 G97 M3 S800 T101;

G0 X45. Z2. M8;

Z0;

G1 X -2. F0. 15;

G0 X40. Z1. ;

G71 U2. R0. 5 F0. 22;

G71 P1 Q2 U0. 8 W0. 1;

N1 G0 X10. 8;

G1 X15. 8 Z -1. 5 S1200 F0. 15;

采用旋转进给，恒转速为 800r/min，1 号刀为 93°外圆车刀定位到工件外且距离较近的中间点，开切削液

定位到平端面的起点

平端面

定位到 G71 指令循环的起点

粗车背吃刀量 2mm，退刀量 0.5mm，进给量 0.22mm/r

N1 ~ N2 之间的程序段群属于这个循环，精加工余量为：X 轴直径值 0.8mm，Z 轴 0.1mm

移动到倒角的延长线上

延长线倒角，此时 X 轴移动了 15.8mm - 10.8mm = 5mm，Z 轴移动了 -1.5mm - 1mm = -2.5mm，X 轴直径值的变化量是 Z 轴变化量的 -2 倍，恰好是 45°倒角；倒角值为 1.5mm，略大于螺纹牙高 1.3mm 即可；给定精加工的转速、进给量

Z - 16. ;	
X20. ;	
X21.99 W - 1. ;	切削到轴的尺寸公差带的中间值或略大, 倒角 1mm
Z - 40. ;	
X28. ;	
X29.99 W - 1. ;	切削到轴的尺寸公差带的中间值或略大, 倒角 1mm
Z - 55. ;	
X36. ;	
X37.97 W - 1. ;	切削到轴的尺寸公差带的中间值或略大, 倒角 1mm
N2 Z - 70. ;	多加工 5mm, 给切断刀留下较好的作业面, 不容易打刀
G0 X100. Z150. ;	退刀到安全点
M3 S1200 T202 ;	换上精车刀
G0 X40. Z1. ;	精车刀要定位到 G71 指令之前的定位点, 否则轨迹就会平移
G70 P1 Q2 ;	精加工时执行 N1 ~ N2 程序段之间指定的 "S1200 F0.15"
T303 M3 S550 ;	换上车槽刀, 切削刀宽 3mm
G0 X18. Z2. ;	定位到工件外且距离较近的中间点
Z - 15. ;	移动到退刀槽右侧的上方
G1 X12.8 F0.1 ;	车退刀槽, 图样中 "4×1.5" 是 "槽宽×槽深", 槽深略大于螺纹牙高即可
G0 X23. ;	车到槽底后, 直接退 X 轴到安全点
Z - 16. ;	再移动 Z 轴, 到退刀槽左侧的上方
G1 X12.8 F0.1 ;	车退刀槽第二刀, 切槽时进给量较小
G0 X32. ;	退刀
Z - 40. ;	定位到第二个槽上
G1 X17. F0.1 ;	车到槽底
G0 X23. ;	退刀
Z - 38.8 ;	移动到倒角的延长线上
G1 X20.8 Z - 39.9 F0.1 ;	倒角 1.1mm, 槽口向右侧扩大了 0.1mm
X17. ;	切到槽底
G0 X100. ;	先沿 X 轴退刀
Z150. ;	再退 Z 轴
T404 M3 S900 ;	在安全位置换上螺纹车刀
G0 X20. Z5. ;	定位到螺纹切削起点, Z 轴定位点在 2 倍导程外
G92 X14.8 Z - 13.5 F2. ;	螺纹切削第一刀, 背吃刀量 0.5mm
X14.2 ;	螺纹切削第二刀, 背吃刀量 0.3mm
X13.7 ;	螺纹切削第三刀, 背吃刀量 0.25mm
X13.4 ;	螺纹切削第四刀, 背吃刀量 0.15mm
X13.4 ;	螺纹切削第五刀, 背吃刀量为 0, 光一刀
G0 X100. Z120. ;	从螺纹切削起点 X20. Z5. 退刀到安全位置 X100. Z120.
T303 M3 S500 ;	再次换上车槽刀

G0 X40. Z2. ;	定位到工件外且距离较近的中间点
Z-69. ;	定位到工件左侧 1mm, 为便于排屑, 以下刀路采用交错进刀
G1 X30. F0.1 ;	切削
G0 X40. ;	退刀
Z-65.7 ;	定位到倒角的延长线上
G1 X35. Z-68.2 F0.1 ;	倒角 1.5mm, 给工件左侧平端面时留了 0.2mm 的余量
X20. ;	切削
G0 X32. ;	退刀
W-0.6 ;	定位, 和上次切削的 Z 坐标值错开 0.2mm
G1 X10. F0.08 ;	切削, 降低进给量
G0 X22. ;	退刀
W0.4 ;	定位, 和上次切削的 Z 坐标值错开 0.2mm
G1 X3. F0.08 ;	切削, 留一点量, 用手掰断
G0 X50. M9 ;	刀具沿 X 轴退刀, 脱离工件, 关闭切削液
M5 ;	主轴停
G0 X100. Z200. ;	两轴联动定位到安全位置
T101 ;	换上程序中的第一把刀, 也可以编写为 T100
M30 ;	程序结束, 复位

批量加工后, 再批量倒角、平端面即可。

例 1-3 三角形螺纹轴的加工 (1) (锥度相关的计算)。

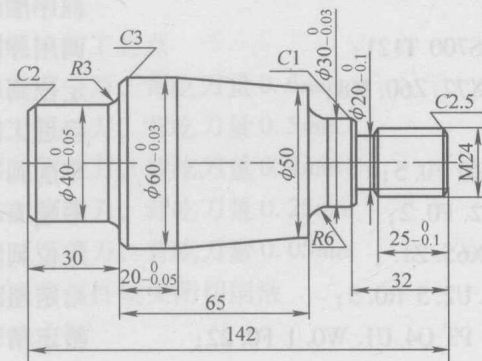
如图 1-3 所示, 该工件毛坯尺寸为 $\phi 65\text{mm} \times 145\text{mm}$, 材料为 45 钢, 试编写其加工程序。

工艺分析:

夹持右端, 工件伸出卡盘长 62 ~ 65mm, 加工至 $\phi 60_{-0.03}^0\text{mm}$ 段的右端并延长一段距离, 然后调头装夹, 垫上铜皮半夹紧 $\phi 40_{-0.05}^0\text{mm}$ 处, 使用磁性表座夹紧百分表测量, 表头指向已经加工过的、远离卡爪的一端, 使跳动量在 0.02mm 以内, 再夹紧; 先用 1 号刀平一下端面, 测量一下, 保证总长为 142mm; 加工右端时, 把锥度向 Z 轴负方向延长一段距离。这样就把左右两端的接头留在了 $\phi 60_{-0.03}^0\text{mm}$ 段和锥度的交界处。

参考程序如下:

O0100 ;	
G99 G97 M3 S700 T101 ;	换上外圆粗车刀
G0 X100. Z100. M8 ;	定位到中间点, 打开切削液



技术要求

1. 未注倒角 C0.5。
2. 严禁用锉刀、砂布修饰加工表面。
3. 未注形状公差应符合 GB/T 1184—1996 的要求。

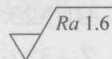


图 1-3 三角形螺纹轴

X72. Z3. ;	接近工件
G1 Z0 F0.5 ;	切削到平端面的起点
X -2. F0.2 ;	平端面
G0 X65. Z1. ;	定位到 G71 指令粗车循环的起点
G71 U2.5 R0.5 ;	给定粗车时的背吃刀量、退刀量
G71 P1 Q2 U1. W0.1 F0.22 ;	给定精车时的余量、粗车时的进给量
N1 G0 X34. ;	定位到倒角的延长线上
G1 X39.97 Z -2. F0.15 S1000 ;	倒角；给定精加工时的进给量、转速
Z -27. ;	
G2 U6. W -3. R3. ;	倒圆角
G1 X54. ;	
X59.99 W -3. ;	倒角，切削到公差带的中间值
N2 Z -57. ;	$\phi 60_{-0.03}^0$ mm 段的轴向尺寸延长了 7mm
G0 Z200. ;	退刀到安全位置
T202 M3 S1000 ;	换上外圆精车刀
G0 X65. Z60. ;	定位到中间点
Z1. ;	定位到 G71 指令粗车循环的起点上
G70 P1 Q2 ;	精车循环
G0 Z20. M9 ;	刀具刚脱离工件就关闭切削液
X100. Z200. M5 ;	退刀到安全位置，停止主轴
T101 ;	换上加工另一端的第一把刀，外圆粗车刀
M0 ;	程序准确停止，调头装夹
M3 S700 T121 ;	调用外圆粗车刀的另一个偏置值
G0 X72. Z60. M8 ;	定位到中间点的同时，打开切削液
Z3. ;	接近工件
G1 Z0 F0.5 ;	车削到平端面的起点
X -2. F0.2 ;	平端面
G0 X65. Z1. ;	定位到 G71 指令粗车循环的起点
G71 U2.5 R0.5 ;	给定粗车时的背吃刀量、退刀量
G71 P3 Q4 U1. W0.1 F0.22 ;	给定精车时的余量、粗车时的进给量
N3 G0 G42 X16.7 ;	定位到倒角延长线起点的同时，执行刀尖半径右补偿
G1 X23.7 Z -2.5 F0.18 S1000 ;	倒角，给定精加工时的进给量、转速
Z -32. ;	
X28. ;	
X29.99 W -1. ;	倒角 1mm；切削到公差带的中间值
Z -41. ;	
G2 U12. Z -47. R6. ;	倒圆角
G1 X48.91 ;	切削到倒角的起点
X50.11 Z -47.54 ;	倒角 0.54mm，按照锥度比 1:4.5，直径值变大了 0.12mm
X60.59 Z -94.7 ;	切削锥度，Z 轴延长了 2.7mm，按照锥度比 1:4.5，直径值变大了 0.6mm

N4 G40 W -1.5;	在向左移动 1.5mm 的同时取消刀尖半径补偿
G0 Z200.;	退刀到安全位置
T222 M3 S1000;	换上外圆精车刀, 调用另一个偏置值
G0 X65. Z60.;	定位到中间点
Z1.;	定位到 G71 指令尺寸循环的起点
G70 P3 Q4;	精加工循环
G0 Z200.;	退刀
T303 M3 S600;	换上车槽刀
G0 X32. Z60.;	定位到中间点
Z2.;	先定位到接近工件的位置
Z -32.;	再定位到槽左侧的上方
G1 X25. F0.2;	空切削时的进给量大一点
X19.95 F0.1;	切削到槽底
G4 P120;	在槽底停留 0.12s, 600r/min 时暂停 1.2 圈
G0 X26.;	先沿 X 轴退刀
W3.05;	再定位到槽右侧的上方
G1 X19.95 F0.1;	切削到槽底
G4 P120;	在槽底停留 0.12s, 600r/min 时暂停 1.2 圈
G0 X30.;	沿 X 轴退刀
Z200.;	退刀到安全位置
T404 M3 S900;	换上外螺纹车刀, 转速适当提高
G0 X28. Z60.;	定位到中间点
Z8.;	定位到螺纹加工起点
G92 X22.5 Z -29. F3.;	螺纹加工第一刀, 背吃刀量 0.6mm
X21.5;	螺纹加工第二刀, 背吃刀量 0.5mm
X20.7;	螺纹加工第三刀, 背吃刀量 0.4mm
X20.2;	螺纹加工第四刀, 背吃刀量 0.25mm
X20.1;	螺纹加工第五刀, 背吃刀量 0.05mm
G0 Z20. M9;	刀具刚脱离工件就关闭切削液
M5;	随后停止主轴
X100. Z200.;	退刀到安全位置
T100;	只是换上程序中的第一把刀, 有无偏置值号都可以
M30;	

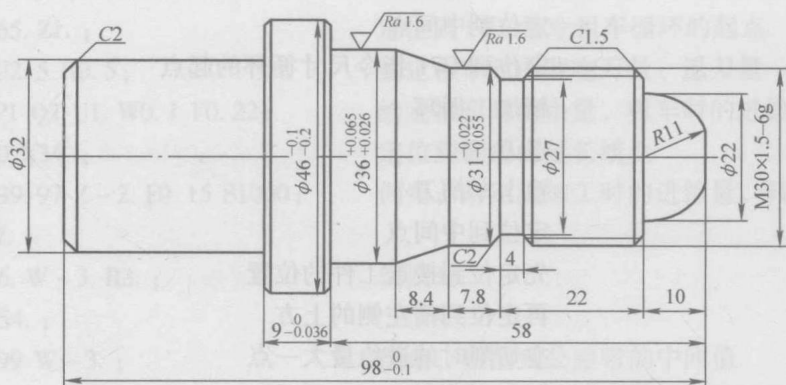
瑕疵品分析及处理:

1) $\phi 60_{-0.03}^0$ mm 段右端圆周截面上相差 180° 的地方, 相交线的轴向位置不一样。这是由于装夹时的同轴度误差造成的。应使用磁性表座夹紧指示表测量, 表头指向已经加工过的、远离卡爪的一端, 使跳动量在 0.02mm 以内。

2) $\phi 60_{-0.03}^0$ mm 段的轴向尺寸 $20_{-0.05}^0$ mm 超差: 应按照 1:4.5 的锥度比调整右端精车刀的偏置值, 比如实测尺寸为 20.5mm, 大了 0.45mm, 则按照比例关系, 应该把精车刀 X 向直径值的偏置值调小 0.1mm, 但同时应该考虑 $\phi 30_{-0.03}^0$ mm 的尺寸是否在公差范围内。如果不在公差范围内, 应把程序中的 X 坐标值做相应的微调。

例 1-4 三角形螺纹轴的加工 (2) (勾股定理的应用)。

如图 1-4 所示, 该工件毛坯为 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$, 材料为 45 钢, 试编写其加工程序。



技术要求

1. 锐边倒钝。
2. 未注倒角 C1。
3. 未注公差按 IT14 标准执行。

图 1-4 三角形螺纹轴

数学分析:

图样左端的直径尺寸, 由勾股定理可以算出, 坐标为 $2 \times \sqrt{11^2 - 10^2} \text{mm} = 9.165 \text{mm}$ 。

工艺分析:

先加工左端, 超越 $\phi 46_{-0.1}^{\pm 0.2} \text{mm}$ 尺寸段右端一段距离, 然后调头装夹, 夹持 $\phi 32 \text{mm}$ 处, 卡爪端面靠紧 $\phi 46_{-0.1}^{\pm 0.2} \text{mm}$ 尺寸段左端, 加工右端。

参考程序如下:

O1070;

G97 G99 M3 S800 T101;

换上外圆粗车刀

G0 X100. Z100. M8;

定位到中间点, 打开切削液

X56. Z3. ;

接近工件

G1 Z0 F0.5;

切削到平端面的起点

X-2. F0.2;

平端面

G0 X50. Z1. ;

定位到 G71 指令粗车循环的起点

G71 U2. R0.5;

设定粗车循环的背吃刀量、退刀量

G71 P1 Q2 U1. W0.1 F0.22;

设定精车时的余量、粗车的进给量

N1 G0 X26. ;

定位到倒角的延长线上

G1 X31.95 Z-2. S1000 F0.18;

倒角 2mm; 设定精车时的转速、进给量

Z-31.07;

依尺寸链计算, 切削到公差带的中间值

X43.85;

倒角的起点

X45.85 W-1. ;

切削到公差带的中间值

N2 Z-55. ;

延长了 15mm

G0 X100. Z150. ;

退刀

T202 M3 S1000;

换上外圆精车刀

G0 X50. Z60. ;	定位到中间点
Z1. ;	定位到 G71 指令的起点
G70 P1 Q2;	精车循环
G0 Z20. M9;	刀具刚脱离工件就关闭切削液
M5;	主轴停止
G0 X200. Z200. ;	退刀
T101;	换上加工右端的第一把刀
M0;	程序准确停止, 调头装夹, 指示表打在已加工过的靠右的表面上, 调整使跳动量在 0.02mm 内
T121 M3 S800;	外圆粗车刀, 调用另一个偏置值
G0 X56. Z60. M8;	定位到中间点, 打开切削液
Z3. ;	接近工件
G1 Z0 F0.5;	切削到端面外
X-2. F0.2;	平端面
G0 X50. Z1. ;	定位到 G71 指令粗车循环的起点
G71 U2. R0.5;	设定粗车循环时的背吃刀量、退刀量
G71 P3 Q4 U1. W0.1 F0.22;	设定精车时的余量、粗车进给量
N3 G0 G42 X9.165;	定位到圆弧起点外, 建立刀尖半径补偿
G1 Z0 F0.18 S1000;	切削到圆弧的起点; 设定精车时的转速、进给量
G3 X22. Z-10. R11. ;	圆弧切削
G1 X26.8;	
X29.8 W-1.5;	倒角 1.5mm
Z-32. ;	切削到螺纹大径
X30.962;	切削到公差带的中间值
W-7.8;	
X36.045 W-8.4;	锥度切削, 切削到公差带的中间值
Z-58. ;	
X43.85;	
U4. W-2. ;	倒角 1mm, 延长了 1mm
N4 G40 W-1. ;	延长了 1mm, 取消刀尖半径补偿
G0 X100. Z150. ;	退刀
T222 M3 S1000;	换上外圆精车刀, 调用另一个偏置值
G0 X50. Z60. ;	
Z1. ;	定位到 G71 指令的起点
G70 P3 Q4;	精车
G0 X100. Z150. ;	退刀到安全位置
T303 M3 S600;	换上车槽刀, 切削刃宽 4mm, 左刀尖为刀位点
G0 X32. Z60. ;	定位到中间点
Z1. ;	接近工件
Z-32. ;	定位到槽的正上方
G1 X27. F0.1;	以较小的进给, 切削到槽底

G4 P120;	暂停 0.12s, 主轴转了 1.2 圈
G0 X33.;	退刀
W -3.;	定位到倒角的起点
G1 X27. W3.;	倒角 2mm
G0 X32.;	退刀
W2.5;	定位到倒角的起点
G1 X27. W -2.5;	倒角 1.5mm
G0 X60.;	先沿 X 轴退刀
Z150.;	再沿 Z 轴退刀到安全位置
T404 M3 S900;	换上外螺纹车刀
G0 X32. Z60.;	定位到中间点
G92 X29. Z -29.5 F1.5;	螺纹切削第一刀, 背吃刀量 0.4mm
X28.5;	螺纹切削第二刀, 背吃刀量 0.25mm
X28.2;	螺纹切削第三刀, 背吃刀量 0.15mm
X28.05;	螺纹切削第四刀, 背吃刀量 0.075mm
G0 Z20. M9;	刀具刚脱离工件, 就关闭切削液
M5;	主轴停止
G0 X150. Z200.;	再移动刀具到安全位置
T101;	换上程序中的第一把刀; 在这里换刀是为了提高加工效率
M30;	

答疑解惑:

数控车床上有主轴编码器, 能保证多次切削时从同一个角度切入工件, 进刀和退刀全部由计算机控制, 快速移动速度大, 效率是普通车床车螺纹的数倍甚至几十倍。

有一些操作过普通车床的操作工提出一个问题, 普通车床上车外螺纹, 计算牙高都按 $(0.58 \sim 0.60)P$, 有的粗活甚至按 $0.55P$, 为什么数控车床用 $0.65P$? 这是因为两者的计算起点不同。在车削外螺纹时, 由于车刀的挤压作用, 尺寸会变大, 所以外螺纹大径比公称直径略小 $(0.1 \sim 0.13)P$ 。数控车床在车削外螺纹时, 小径的计算起点是外螺纹的公称直径, 所以是按照 $0.65P$ 计算牙高; 普通车床在车削外螺纹时, 是用螺纹车刀尖对在已经加工过的螺纹大径上, 以此为起点去计算所需要车削的深度, 计算的起点不是外螺纹的公称直径, 所以牙高必然略小于 $0.65P$ 。

因两者的计算起点不同, 所以看起来牙高有差别, 其实牙高都是一样的。

例 1-5 法兰盘的加工 (三角函数的应用)。

如图 1-5 所示, 该工件毛坯为铸钢件, 内孔和外圆各留有 $2 \sim 3\text{mm}$ 余量, 试编写其加工程序。

数学分析:

该图样上有一处 60° 的锥度, 尺寸按照公差带的中间值, 根据三角函数, 很容易计算出其 X 轴直径坐标值为 $166.875 + 2\tan(60^\circ/2) \times (30 - 25.05) = 172.591$ 。

从左端面向外 1.5mm 处延长线倒角, 其 X 轴直径坐标值为 $166.875 - 2\tan(60^\circ/2) \times 1.5 = 165.143$ 。

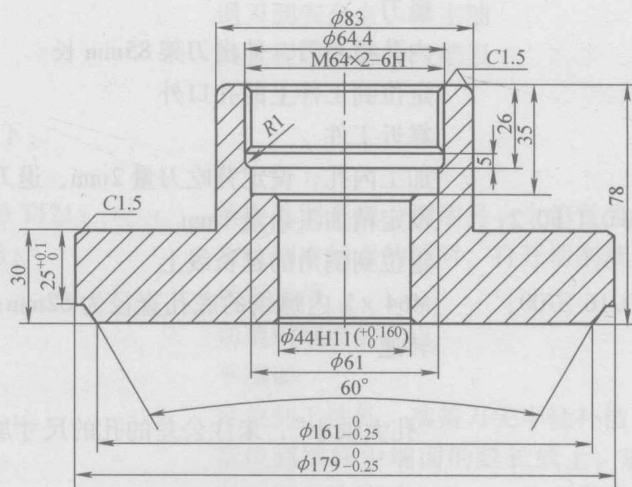


图 1-5 盘类件

工艺分析:

类似这种工件,先加工左端还是先加工右端,要看工件上的基准面是哪里,其余的重要尺寸(如带有公差的孔)和基准面的几何公差(同轴度、垂直度等)是如何规定的。在加工之前,必要时可以在卡爪内夹紧一个直径略小的轴类工件,把卡爪车出一个台阶,并扫一刀卡爪端面,以保证满足工件上的几何公差要求。

如果 $\phi 44H11$ 的孔和 $\phi 83\text{mm}$ 的轴有较高的同轴度要求,就要求两者在一次装夹中加工出来。在卡爪上车好深 15mm、高度为 2~3mm 的台阶。在装夹左端时,卡爪和工件的接触处要注意避开缺损、凸起等材料缺陷。加工完右端及内孔后,垫上铜皮夹紧 $\phi 83\text{mm}$ 处,再加工左端。

右端参考程序如下:

O0094;

G97 G99 M3 S400 T101;

G0 X186. Z5. M8;

Z-43.;

G1 Z-47.8 F0.4;

X88. F0.2;

G0 U2. Z0;

G1 X38.;

G0 X77.9 Z1.;

G1 X82.9 Z-1.5;

Z-48.;

X175.;

U6. W-3.;

T101 为外圆车刀

定位到中间点的同时,打开切削液

距离工件有一定的距离,避免碰撞

和最终轴向尺寸留有 0.2mm 余量

先加工这个面,在转速较慢的时候能看出来该平面是否有缺肉等缺陷;如果有缺陷,及时复位,调整 EXT 坐标系的 Z 值,退刀之后从程序开头再次加工;加工完这个工件之后,别忘记了调整过来;如果有较多的工件的这个面加工不出来,就调整加工右端的所有刀具的 Z 轴偏置值向 -Z 方向移动一定的距离

退刀,定位到工件右端外,平端面的起点

平端面

准备倒角

倒角,“孔大轴小”,未注公差的轴加工得略小

加工到轴向尺寸

切削到倒角的起点,倒角略大一点,接近 $2 \times 45^\circ$

倒角,大一点的倒角有利于调头装夹时加工 $\phi 179\text{mm}$ 尺寸