

复杂轴类组合件加工关键技术

■ 四川机电职业技术学院（攀枝花 617000） 吴守明 曹金龙

摘要：对复杂轴类组合件进行加工工艺分析，确定装夹方案、加工顺序、走刀路线、刀具及切削用量。关键工序的程序设计是基于FANUC Oi系统开发的宏程序和相应的加工指令，并根据编制的程序在CKA6136机床上完成零件的制作加工。

1. 零件整体工艺分析

椭圆—螺纹复杂组合件为4件套，如附图所示。零件相互配合后组成一个长度约80.5mm的轴类套件，材料为45钢，切削加工性能较好，无热处理和硬度要求。零件轮廓描述清楚完整，表面由内外圆柱面、椭圆圆弧及螺纹等组成，其中多个直径尺寸与轴向尺寸有较高的尺寸精度和表面粗糙度要求。尺寸标注完整，符合数控加工尺寸标注要求，加工时按从右到左的顺序进行程序编制和加工。所采取的工艺措施有以下几点：

（1）零件图样上带公差的

尺寸，因公差值较小，故编程时不必取其平均值，取基本尺寸即可。

（2）左右端面均为多个尺寸的尺寸基准，注意尺寸的选择和加工速度的确定。

（3）零件需要调头加工，注意调头的对刀和端面找准。

（4）注意4个工件的加工配合问题。

2. 确定装夹方案、加工顺序及走刀路线

（1）根据零件的大小和结构特点，选择CKA6136数控车床、FANUC Oi系统及三爪自定心卡盘。

（2）按照基轴制的原则，先加工锥形轴。该轴大部分为1:20的锥度，在调头加工时不能夹锥度外圆，所以先加工左端部分。用三爪自定心卡盘夹紧，加工 $\phi 38\text{mm}$ 的外圆和端面圆弧；调头打中心孔，用一夹一顶的方式夹 $\phi 38\text{mm}$ 的外圆，且用铜皮包裹，顶住工件右端的中心孔加工锥度和M16 $\times$ 1.5mm螺纹。加工顺序按由粗到精、由近到远的原则确定，由于外圆尺寸是单向递增的，所以采用G71循环，轮廓表面车削走刀路线可沿零件轮廓顺序进行。

（3）加工端盖外轮廓和内螺

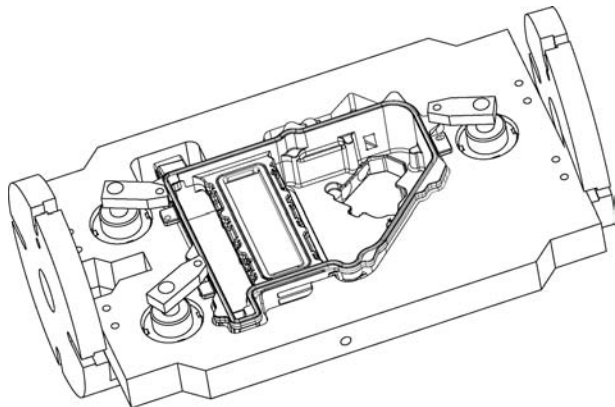


图 5

增加辅助工艺台，并在机加工后工序中去除工艺台。

在夹具设计中，一定要防止因压紧不合适而引起的产品变形对加工精度的影响。

参考文献：

[1] 陆宏钧. 机械加工工艺设计员手册[M]. 北京：机械工业出版社，2009.

MW（收稿日期：20170223）



(b) 椭圆轴

(c) 变距螺纹轴

(d) 锥形轴

(e) 总成

椭圆—螺纹组合件

1.端盖 2.椭圆轴 3.变距螺纹轴 4.锥形轴

(4) 加工椭圆轴右端外轮廓和內锥孔部分。由于椭圆轴外轮廓带椭圆和螺纹, 所以要对加工尺寸进行几何计算。加工顺序按由粗到精、由近到远及由外到内的原则确定, 在一次装夹中尽可能加工出较多的工件表面。结合该零件的结构特征, 可先粗车外圆表面, 精加工外轮廓表面, 然后切槽和车 $M33 \times 2\text{mm}$ 螺纹。內孔选用 $\phi 20\text{mm}$ 钻头钻孔, 然后用內孔车刀粗车和精车。

(5) 加工椭圆轴左端外圆和内孔。螺纹部分用铜皮包裹，用三爪自定心卡盘夹住铜皮包裹的螺纹部分并靠紧 $\phi 24\text{mm}$ 台阶端面，加工 $\phi 48\text{mm}$ 外圆、端面和内孔。

(6) 加工变距螺纹轴右端外圆和内孔。要求 $\phi 48\text{mm}$ 表面用螺纹刀按图示螺距刻螺旋线，螺旋线深 0.5mm 。由于变距螺纹轴外轮廓左端带椭圆，右端是变距螺纹，所以先夹住左端外圆毛坯加工右端外圆和内孔。加工顺序按由粗到精、由近到远及由外到内的原则确定，外表面尺寸加工好以后，用G34指令加工变距螺纹。内孔选用 $\phi 20\text{mm}$ 钻头钻孔，钻孔深度大于 50mm ，然后用内孔车刀粗车和精车。

(7) 加工变距螺纹轴左端外

圆和内螺纹。由于变距螺纹轴外轮廓带椭圆, 内孔带螺纹, 所以要对加工尺寸进行几何计算。加工顺序按由粗到精、由近到远及由外到内的原则确定, 结合该零件的结构特征, 可先粗车外圆椭圆表面, 精加工外圆椭圆表面。内孔选用内孔车刀粗车和精车, 用内孔切槽刀切 $\phi 36\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的退刀槽, 然后用内螺纹车刀加工 $\text{M}33 \times 2\text{mm}$ 螺纹。

(8) 装配, 达到组合要求。

3. 确定刀具及切削用量

(1) 数控刀具的选择原则。

刀具寿命与切削用量有密切的关系。在制定切削用量时,应首先选择合理的刀具寿命,而合理的刀具寿命则应根据优化的目标而定。一般分最高生产率刀具寿命和最低成本刀具寿命两种,前者

根据单件工时最少的目标确定，后者根据工序成本最低的目标确定。

刀具寿命可根据刀具复杂程度、制造和磨刀成本来选择。复杂和精度高的刀具寿命应选得比单刃刀具高些。对于机夹可转位刀具，由于换刀时间短，为了充分发挥其切削性能、提高生产效率，刀具寿命可选得低些；对于装刀、换刀和调刀比较复杂的多刀机床、组合机床与自动化加工刀具，刀具寿命应选得高些，尤其要保证刀具可靠性。数控机床上所选用的刀具常采用适应高速切削的刀具材料（如高速钢、超细粒质硬质合金），并使用可转位刀片。

数控车削刀常用的一般分成形车刀、尖形车刀和圆弧形车刀三类。成形车刀也称样板车刀，其加工零件的轮廓形状完全由车刀刀刃的形状和尺寸决定。数控车削加工中，常见的成形车刀有小半径圆弧车刀、非矩形车槽刀和螺纹刀等。在数控加工中，应

尽量少用或不用成形车刀。尖形车刀是以直线形切削刃为特征的车刀，这类车刀的刀尖由直线形主副切削刃构成，如90° 内外圆车刀、左右端面车刀、切槽（切断）车刀及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。尖形车刀几何参数（主要是几何角度）的选择方法与普通车削时基本相同，但应结合数控加工的特点（如加工路线、加工干涉等）进行全面考虑，并应兼顾刀尖本身的强度。

（2）组合件刀具选择如附表所示。

（3）合理选择切削用量。数控车削中的切削用量是表示机床主体的主运动和进给运动速度大小的重要参数，包括切削深度、主轴转速和进给速度。它们的选择与普通卧式车床的要求基本对应一致，切削用量的选择原则是：保证零件加工精度和表面粗糙度，充分发挥刀具切削性能，保证合理的刀具寿命，并充分发挥机床的性能，最大限度提高生产率，降低成本。但数控车床

加工的零件往往较复杂，切削用量按一定的原则初定后，还应结合零件实际加工情况随时进行调整，方法是利用数控车床的操作面板上各种倍率开关，随时进行调整，来实现切削用量的合理配置。

4. 车削加工关键要素

端盖为盘套类零件，单独装夹不便；椭圆轴和变距螺纹轴配合后为完整的1/2椭圆，单独加工1/4椭圆后注意配合精度；变距螺纹轴有一处变距螺纹，注意数控加工指令的运用；锥形轴有端面圆弧，注意刀具安装方向。因此，在上述加工要素当中，把椭圆和变距螺纹确定为关键要素，在此只编写关键要素的数控加工程序，其余部分不再赘述。

（1）椭圆轴右端宏程序：

```

用φ18mm钻头钻通孔
O0001                                程序名
N10 G21 G99 G40 M03 S800
T0101;

N20 G00 X52 Z0;
N30 G01 X0 F0.1;
N40 G00 X100 Z100;
N50 T0202 M03 S600;
N60 G42 G00 X52 Z5;
N70 G73 U14 W2 R7;
N80 G73 P90 Q210 U0.2 W0.1 F0.2
M03 S600;
N90 G00 Z2;
N95 G00 X25;

                螺纹倒角延长线起点
N100 G01 X32.8 Z-2 ;
N110 G01 Z-23;
N120 G01 X42;                椭圆起点
N130 #1=10;                椭圆宏程序
N140 #2=22.5;
N150 #3=23;
```

数控加工刀具表

序号	刀具号	刀具规格、名称	数量	加工表面	刀尖半径/mm	备注
1	T01	硬质合金端面45° 车刀	1	粗、精车端面	—	—
2	T02	硬质合金90° 车刀	1	粗、精车外轮廓	0.4	左偏刀
3	T03	端面圆弧车刀	1	车端面圆弧	—	—
4	T04	硬质合金切槽刀	1	切槽及切断	—	刀宽3mm
5	T05	60° 硬质合金外螺纹车刀	1	粗、精车外螺纹	—	—
6	T06	内孔车刀1	1	车M16mm×1.5mm内孔	—	杆φ10mm
7	T07	内孔车刀2	1	车椭圆轴、变距螺纹轴内孔	—	杆φ16mm
8	T08	内孔切槽刀	1	车内螺纹退刀槽	—	刀宽3mm
9	T09	60° 内螺纹车刀	1	车内螺纹	—	—
10	T10	φ4mm中心钻	1	钻中心孔	—	—
11	T11	φ13mm钻头	1	钻端盖内孔	—	—
12	T12	φ18mm钻头	1	钻椭圆轴、变距螺纹轴内孔	—	—

```

N160 #4=#2*SQR T[#1*#1-
#3*#3]/#1;
N170 G01 X[62-2*#4] Z[#3-23];
N180 #3=#3-0.5;
N190 IF[#3GE-39.068] GOTO160;
N200 G01 X48.5;
N210 G01 Z-40;
N220 G70 P90 Q210 M03 S1000
F0.05;    精车外轮廓
N230 G40 G00 X100 Z100;
N240 T0404;    换外切槽刀
N250 G00 X45 Z-21;
            切槽循环起点
N260 G75 R1;    切槽循环
N270 G75 X29 Z-23 P3000 Q2000
F0.05
N280 G00 X100 Z100;
N290 T0505 M03 S400;
换外螺纹车刀, 转速400r/min
N300 G00 X36 Z6;
            螺纹切削循环起点
N310 G76 P040060 Q0.1 R0.2;
螺纹切削循环
N320 G76 X30.4 Z-20 R0 P1.3 Q0.5
F2;
N330 G00 X100 Z100;
N340 T0707 M03 S600;
换内孔车刀车内孔
N350 G00 X16 Z5;
N360 G71 U2 R1;
N370 G71 P380 Q400 U-0.2 W0.1
F0.1;
N380 G00 X23.05;
N390 G01 X21 Z-42;
N400 G01 X18;
N410 G70 P380 Q400 M03 S1000
F0.05;    精车内锥孔
N420 G00 Z100;
N430 G00 X100;
N440 M05;
N450 M30;    程序结束

```

(2) 变距螺纹轴右端变距螺
纹程序:

用 $\phi 18\text{mm}$ 钻头钻通孔
O0002

```

N10 G21 G99 G40 M03 S800
T0101;
N20 G00 X52 Z0;
N30 G01 X0 F0.1;
N40 G00 X100 Z100;
N50 T0202 M03 S600;
N60 G00 X52 Z5;
N70 G71 U2 R1;
N80 G71 P90 Q100 U0.2 W0.1 F0.2
M03 S600;
N90 G00 X48.01;
N100 G01 Z-35;
N110 G70 P90 Q100 M03 S1000
F0.05;    精车外轮廓
N120 G00 X100 Z100;
N130 T0505 M03 S400;
换外螺纹车刀, 转速400r/min
N140 G00 X47.6 Z5;
            快速到螺纹切削X起点
N150 G01 Z0 F0.5 S100;
            快速到螺纹切削Z起点
N150 G34Z-35 F6 K2;
            车变距螺纹第一刀
N160 G00 X50
N170 G00 Z0;
N150 G01 X47.5 F0.5;
            定位到螺纹起点
N150 G34 Z-35 F6 K2;
            车变距螺纹第二刀
N160 G00 X100 Z100;
N170 T0707 M03 S600;
            换内孔车刀车内孔
N180 G00 X16 Z5;    内孔循环起点
N190 G71 U2 R1;    外径粗车循环
N200 G71 P210 Q260 U-0.2 W0.1
F0.1;
N210 G00 X38.01;

```

```

N220 G01 Z-6
N230 G01 X24.11;
N240 G01 X23 Z-27;
            车内锥孔
N250 G01 X16
N260 G00 Z5
N270 G70 P210 Q260 M03 S1000
F0.05;    精车内孔
N280 G00 X100 Z100;
N290 M05;
N300 M30;    程序结束

```

5. 结语

采用用户宏程序的组合零件加工, 程序段少、结构简明、易修改且逻辑性强。程序的通用性强, 在类似套件的加工中, 为加工制造不同角度的椭圆提供了可靠的技术支持。这些不同的椭圆, 只需要在主程序中改变基本参数的变量赋值即可。变距螺纹的加工也只需在程序中改变基本参数即可。

参考文献:

- [1] 袁绩乾, 李文贵. 机械制造技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 228-243.
- [2] 刘蔡保. 数控车床编程与操作[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 148-152.
- [3] 沈建峰, 虞俊. 数控车工[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 149-151.
- [4] 李海滨, 余颖婷. 叶片数控加工关键技术的研究[J]. 机床与液压, 2010, 38 (11) : 14-25.
- [5] 李锋. 数控宏程序实例教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 11-22.

MW (收稿日期: 20170214)