# 拟合法兰零件数控加工编程与优化

中航工业空空导弹研究院凯迈机电公司 （河南 471003） 刘仁春 袁维涛

宏程序本身的篇幅不大，但是在数学表达上却有相当难度。为了更容易理解，这里以我公司的零件“拟合法兰”为例，分析编写宏程序时的编程步骤和基本思路以及宏程序的用法。

利用Pro/E建立的模型，如图1所示。

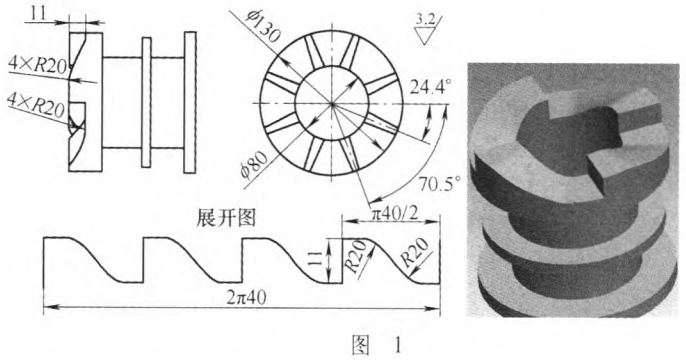



图 1

## 1. 零件分析

本零件是圆柱体的一端均布4个由螺旋形斜面和台阶组成的齿，类似端面凸轮，展开后，每个齿都是由一段斜线和上下两条直线段组成，中间用$R$20mm圆弧过度连接。通过对本零件分析，精加工可以选用带转台的四轴数控铣或三轴数控铣床加工，无论哪种机床都要一刀一刀的逼近零件轮廓。虽然本零件在四轴机床上可以加工，但是，此类零件是根据用户需要定制的，所以批量小，尺寸经常需要更改，根部的$R$圆弧倒角有时很小甚至没有。当$R$很小时，用带四轴的转台加工，就无法满足要求。而在三轴数控铣床上用立铣刀精加工此端面，则不存在以上问题。零件的装夹定位，用圆柱心轴和压板定位压紧。坐标系设定在圆柱中心，$Z$轴零点设在齿形底部。走到路线为用立铣刀由外往内，每圈从齿形底部往顶部切削。选用FANUC 0$i$数控系统。以下以第四象限的齿为例，阐述宏程序的编写步骤。

（1）刀具选择 本零件可以用球头铣刀或立铣刀，但考虑到齿形根部有时没有$R$倒角，球头刀不能满足要求，并且为了做一个通用的宏程序，而立铣刀可以不受倒角$R$的限制。确定选用立铣刀加工此类零件。下面计算能选用的刀具尺寸。根据零件的形状可知，刀具最容易在拟合齿内圈边沿的底部和90°立面发生干涉。所以按内圈尺寸展开进行计算，然后还原到相应的圆柱面上即可。如图2所示。

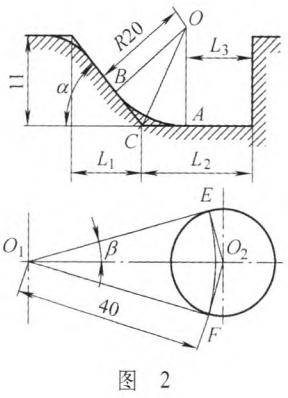



图 2

$L_1=$（70.5°－24.4°）/360°×2π×40＝32.184mm

$L_2=24.4°/360°\times2\pi\times40=17.034$mm

$\alpha=\arctan(11/L_1)=18.87°$

$L_3=L_2-AC=L_2-20\times\tan(\alpha/2)=13.71$mm

把尺寸$L_3$还原到半径为40mm的圆柱面上，因为$\widehat{EF}=L_3$

$2\beta=360L_3/(2\pi\times40)=19.638°$

刀具半径$r=EO_2=40\tan\beta=6.92$mm，我们就可以选用半径小于6.92mm的立铣刀。

（2）计算步距 下面根据零件允许的残留高度计算步距。同样，把零件展开如图3所示。根据斜面角度来进行步距计算，其原理如图3所示。立铣刀在斜面$N$上留下的痕迹在$M$面上是椭圆的一部分，该椭圆的长半轴$a=D/2$（铣刀半径），短半轴$b=(D\times\sin\alpha)/2$，其方程为：

$X^2/(D/2)^2+Y^2/[(D\sin\alpha)/2]^2=1$

根据取之$M$界面图的已知变量和椭圆方程，可以计算出（见图3）：

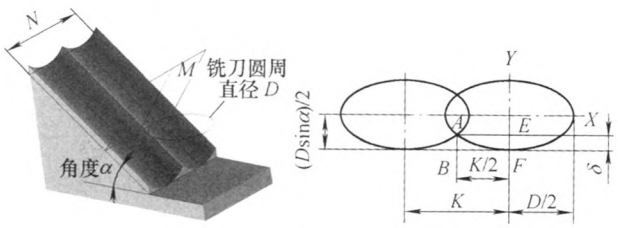


图 3

$$\delta=\frac{D}{2}\sin\alpha-\frac{\sin\alpha}{2}\sqrt{D^2-K^2}=\frac{\sin\alpha}{2}(D-\sqrt{D^2-K^2})$$

由上式可看出$\alpha$越大，残留高度越高；$K$不变，立铣刀越大，残留高度越小；$D$不变，$K$越大，残留高度越大。所以选用$\phi$12mm铣刀，并以内圈为基础计算，根据图2可知$\alpha=18.87°$。根据上式可推算出以下公式：

$$K=\sqrt{\frac{4D\delta}{\sin\alpha}-\frac{4\delta^2}{\sin^2\alpha}}$$

设$\delta=0.01$mm，则代入计算$K\hat{O}1.216$，取$K=1.2$。

**2. 数学计算**

编写数控程序除了有加工经验，更重要的还要有数学计算的能力，特别是编制宏程序时，数学计算更为重要。以下计算坐标时，为了避开多元高次方程组求根的情况，尽量运用了直角三角形的勾股定理和三角函数性质。并且图4中计算的尺寸都使用宏程序所用到的变量代表。

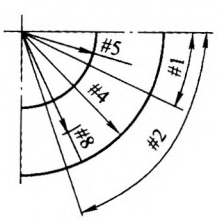


图 4

根据图样已知变量有：

#1＝24.4（角度$A$）

#2＝70.5（角度$B$）

#4＝65（外圆半径$I$）

#5＝40（内孔半径$J$）

#11＝11（深度$H$）

#18＝20（倒角$R$）

可设定变量有：

#6＝1.2（步距$K$）

#7＝6（刀具半径$D$）

#9＝100（切削速度$F$）

借用数控系统的插补原理，以下计算都是随#8圆柱体的齿形半径自变量和#30倒角$R$的角度自变量的变化而变化的，所以只能给出各个变量之间的关系，没有具体数值。在运行程序时只要给#8一个具体的数值，其他变量自动就计算出数值。

图5是在圆柱体的齿形半径内任取一半径值为#8，并把在相应的半径下的圆柱面展开所得到的局部展开图。$Q$点即是#1角度处斜面和底面的交点。

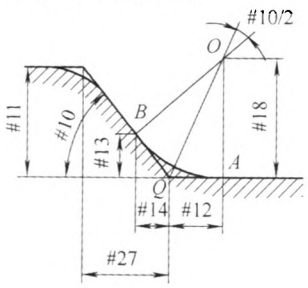


图 5

#27＝（#2－#1）/360×2×π×#8

#10＝arcsin（#11/（#11²＋#27²）$^{1/2}$）

$A$点相对于$Q$点的值：

#12＝#18×tan（#10/2）

$B$点相对于$Q$点的值：

#13＝#12×sin#10

#14＝#12×cos#10

根据四边形性质，可知$\angle AOB$＝#10,在$\angle AOB$任取一角度$\angle AOC$为#30的自变量（从0变化到#10）。计算$C$点的值：

#15＝#18－#18cos#30

#16＝#18sin#30

以上数值是零件轮廓的轨迹，下面把刀具半径#7加进示意图中，如图6所示，刀具中心相对于$Q$点的距离为#17＝#12－#16＋#7。

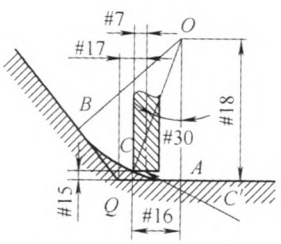


图 6

#15结果不变。下面再把结果还原到相应的圆柱面上的到极坐标是：极半径不变仍是#8；极角是：

#28＝#1－#17/（2π×#8）×360

然后从极坐标分别转换成$X$、$Y$、$Z$各轴坐标的值：

$X$：#21＝#8cos#28

$Y$：#22＝－#8sin#28

$Z$：#23＝#15

#2角度处斜面和顶面相交处各点的计算方法和上面#1角度处的计算方法基本一样，为了简化编程，相同的位置还使用相同的变量表示。如图7、图8所示。

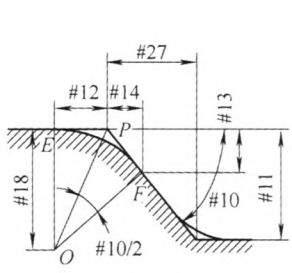



图 7

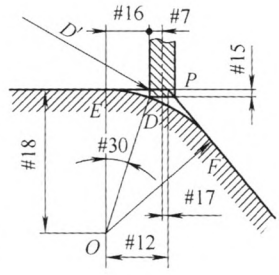



图 8

*E*点相对于*P*点的值：#12＝#18tan（#10/2）

*F*点相对于*P*点的值：#13＝#12sin#10

#14＝#12cos#10

同样使用#30的自变量（只是为了保证连续切削#30从#10变化到0）。计算*D*点的值

#15＝#18－#18cos#30

#16＝#18sin#30

同样考虑上刀具半径#7，刀具中心相对于*P*点的距离为：#17＝#12－#16－#7

同理把结果还原到相应的圆柱面上的到极坐标是：及半径不变仍是#8；

极角是：#28＝#2＋#17/（2π×#8）×360°

然后从极坐标分别转换成*X*、*Y*、*Z*各轴坐标的值：

*X*：#21＝#8cos#28

*Y*：#22＝－#8sin#28

*Z*：#23＝#11－#15

### 3. 程序编制

根据以上的理论计算，只需把数学计算转换为数控语言，再在合适的位置，加上控制程序分支、循环的指令。另外在细节上，再加入一些能够正确控制变量计算的方法，就可以编制出一个完整的宏程序。程序如下：

```
O9020
#8＝#4（给半径自变量#8赋值为外圆半径）
WHILE [[#8GE#5]AND[[#2－#1]LE180]] DO1
#27＝2*3.14159*#8*[#2－#1]/360
#10＝ASIN[#11/[SQRT[#11*#11＋#27*#27]]
#12＝#18*TAN[#10/2]
#13＝#12*SIN[#10]
#14＝#12*COS[#10]

#23＝#15
IF[#30NE0]GOTO10  （当#30等于0时，按以下顺
G00Z[#11＋1]      序分别进刀先快速将刀具移
X#21Y#22          动到距顶面1mm处，然后移
Z[#23＋1]         动XY轴快速将刀具降到距底
G01Z#23F#9        面1mm处，然后以慢速下降）
N10G02X#21Y#22Z#23R#8 （当#30不等于0时，三轴同时切削进刀）
IF[#30EQ#10]GOTO20  （从本句到N15是控制#30
#30＝#30＋1           最后一步的值，使#30最
IF[#30LE#10]GOTO15  后一步刚好等于#10准确
#30＝#10              控制最后一步的坐标。）
N15
END2
N20  #12＝#18*TAN[#10/2]
#13＝#12*SIN[#10]
#30＝0  （给角度自变量初始化为0度）
WHILE [#30LE#10] DO2
#15＝#18－#18*COS[#30]
#16＝#18*SIN[#30]
#17＝#12－#16＋#7
#28＝#1－#17*360/[2*3.14159*#8]
#21＝#8*COS[#28]（通过角度转换成X、Y、Z坐标值）
#22＝－#8*SIN[#28]

#14＝#12*COS[#10]
#30＝#10
WHILE [#30GE0 ]DO3
#15＝#18－#18*COS[#30]
#16＝#18*SIN[#30]
#17＝#12－#16－#7
#28＝#2＋#17*360/[2*3.14159*#8]
#21＝#8*COS[#28]
#22＝－#8*SIN[#28]
#23＝#11－#15
G02X#21Y#22Z#23R#8
#30＝#30－1
END3
#8＝#8－#6
END1
M99
```

# 煤机企业提升数控加工效率的措施

鸡西煤矿机械有限公司 （黑龙江 158100） 何燕成 陈长忠 蒋 理
哈尔滨中能自动化有限公司 （黑龙江 150090） 何岩松 孙丽华

近年来，随着采煤机向着大功率和薄煤层两极分化、新型新品的增加，以及零件复杂程度的加大，数控加工以其强大的优势已经越来越受到各个煤机企业的关注，并成为煤机制造企业赢得市场的决定因素之一。然而仍存在数控加工效率偏低，制造能力不足的现象，提高数控机床的利用率和加工效率已是势在必行。

**1. 提升数控加工的意义**

数控机床具有生产效率和加工自动化程度高，零件的加工精度和产品的质量稳定性好，能完成许多普通机床难以加工或根本无法加工的复杂型面加工，几乎不要专用的工装夹具，提高经济效益和大大减轻工人的劳动强度等优点。因此研究探讨通过数控加工技术的综合竞争力，提高可持续发展能力具有现实意义。

**2. 数控加工效率低下的原因及解决措施**

在生产实践中，数控机床的加工效率在很大程度上取决于切削时间占数控机床工作时间的比例，这个比值越大，生产效率越高。煤机企业须因地制宜，在自身条件的基础上，制定出切实可行的机械加工工艺，以便更快、更好地提升企业的市场竞争力，推动企业快速发展。

**3. 具体应用**

（1）美国加工中心TC30：之前，美国加工中心主要负责加工行星架镗孔工序，由于数控立式中心逐步承接了所有行星架镗孔加工，此后，美国加工中心不再加工行星架。为了充分发挥美国加工中心机床的功能，提高机床利用率，工艺部门从人、机、料、法、环五个方面对其进行了分析：

机床操作者：技师，从事多年数控机床加工，能熟练的操作机床，具备独立编制复杂数控程序的能力，对数控刀具具有很深的研究，具备完成镗序、铣序、钻序的能力。

机器：机床为美国制造，数控机床，服役多年，机床精度完好，主轴直径100mm，主轴不能自由伸缩，具有扭矩保护功能，分度平台尺寸为1 800mm×1 350mm，工作行程*X*轴2 500mm，*Y*轴1 000mm，*Z*轴1 000mm，机床无花盘。

物料：物料太小时，由于机床的小时开机费用高，在此机床加工，经济效益不合算；物料太大时，由于此机床的工作行程受限，且主轴不能伸缩，工件需串活加工或靠刀具的长度代替主轴的伸长，加工的孔同轴度不好，考虑到以上因素，结合采煤机工件特点，认为此机床加工行走壳（或行走盖）比较合适。

方法：此机床的圆弧插铣能力较为突出，适于用圆弧插补的加工方法代替半精镗加工。

**4. Vericut模拟验证并加工零件**

Vericut是进行数控程序模拟、仿真、验证和优化的软件。它可以替代我们检验3～5轴NC程序运行过程,还可以用设计模型与仿真加工模型的比对功能，定量分析仿真加工模型。选用相应的数控系统和机床类型，利用Vericut的自动对比功能，将宏程序加工的零件和Pro/E建立的模型对比，符合图样要求。

最后将编好的程序在数控机床上进行加工，得到了合格的产品。**MW**

（收稿日期：20130417）