

# 宏指令在钼电极加工中的应用

邓荣刚

**摘要：**针对钼电极加工中 G76 螺纹加工环节出现难以避免的掉渣问题，利用 FAUNC 0i 数控系统宏指令构建特殊螺纹复合循环加工模块进行加工，优化了钼电极螺纹加工工艺，解决了掉渣问题。

**关键词：**宏指令 钼电极 螺纹加工 数控编程

FAUNC 0i 数控系统中提供了许多重复循环指令，为零件的加工提供了方便。但是复合循环指令多受格式的限制，往往不能适应实际加工所需要的走刀路线。为了满足生产的需要，往往借助于宏指令构建用户复合循环模块进行加工，以达到实际加工要求，弥补数控功能不足，拓展数控加工范围。

## 一、钼电极加工工艺分析

钼是一种难熔稀有的金属。原子间结合能力极强，常温和高温强度高，高温抗氧化性能好，且膨胀系数小，导电率大，导热性能好。但是钼金属性能较脆，韧性不足，加工性能不佳，存在掉渣和折断现象。

### 1、加工工艺问题

钼电极是一种钼金属产品。其中钼含量大于等于 99.95%，密度为  $9.8 \text{ g/cm}^3$ ，硬度大于等于 47(HRA)，主要应用于玻璃冶炼、稀土冶金等领域。其形状如图 1，规格如表 1，螺纹尺寸根据实际需要进行调整。

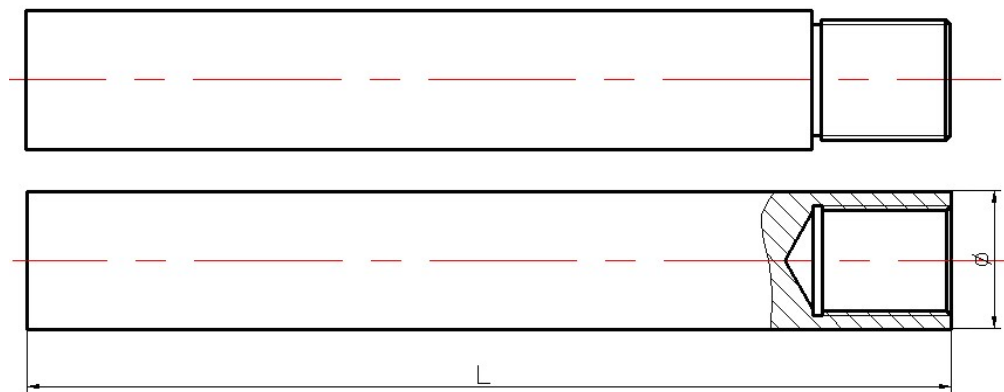


图 1 钼电极

表 1 钼电极规格

$\Phi$ mm	$\Phi(16\sim20)$	$\Phi(20\sim30)$	$\Phi(30\sim45)$	$\Phi(45\sim60)$	$\Phi(60\sim100)$
L mm	300~1000	250~1000	200~1500	250~2100	250~1200

钼金属硬度高，韧性差，加工难点在于刀具稍微磨损，就会出现掉渣现象。目前，钼金属加工主要采用“小吃刀、快进给、高转速”的加工方法。对于钼电极外轮廓或内孔，选取切削三要素加工深度  $a_p=0.3\text{mm}$ 、进给速度  $f=0.3\text{mm/r}$ 、加工速度  $V_c=800\text{r/min}$ （受机床加工速度限制），刀具选用硬质合金车刀

或硬质合金钻头即可胜任。对于钼电极螺纹加工，选择化学气相沉积（CVD）涂层车刀，选择以冷却为目的水溶性切削液，G76斜进法进刀，双车刀车削方法加工钼电极螺纹，基本上能够满足生产的需求。不过，在螺纹加工中掉渣现象时有发生，并且螺纹槽两侧面粗糙度存在差异。一旦钼电极螺纹要求较高，螺距要求较大时，掉渣现象几乎无法避免，甚至在螺纹尾部螺纹牙发生折断现象。

## 2、加工工艺优化

钼电极加工工艺主要体现在螺纹粗加工环节。一旦粗加工掉渣严重，精加工将无法修正。加工工艺优化的关键还是在螺纹粗加工环节中降低刀具的磨损和减少掉渣现象的发生。通过对脆硬材料加工工艺的分析发现：“圆整”（车一刀，再重复空走这一刀）工艺能够明显减少材料加工掉渣现象。其原理是重复空走上一工序过程中，车刀对材料表面的挤压使得材料表面得到强化，减少下一刀车削过程中材料粘连，从而减少掉渣现象。因此，要优化钼电极螺纹加工工艺，就必须引入“圆整”工序，以便有效的避免掉渣现象的发生。但是在FAUNC 0i数控系统中，G76多重循环加工命令格式本身是无法重复上一工序的，也就是说使用G76加工螺纹难于加入“圆整”工序。而选用G92命令直进法螺纹加工，虽然能够引入“圆整”工序，但是刀具两侧刃因同时参与车削，受力大而容易磨损。螺距较大时，会加剧刀具的磨损，反而掉渣现象更为严重。

目前，在现有条件下，对钼电极螺纹加工工艺优化的措施是：螺纹切削量的2/3用G76命令进行粗加工，其余的1/3切削量用G92命令并配合“圆整”工艺进行精加工，取得了较好的效果，但随之而来的是编程过于冗长复杂，参数调整难度大，加工效率低等问题。为了提高加工效率必须改善加工工艺。受G76加工方式的启发，发现G76命令加工螺纹时，车刀只在螺纹槽一侧进行“赶刀”，每次都能重复上次工序，相当于“圆整”了一边，另一边却无法“圆整”，以至于造成螺纹两侧表面粗糙度有些差异。通过上述分析，可以假设如果车刀能够从螺纹槽两侧同时进行类似于G76“赶刀”，这就相当于“圆整”了螺纹槽两侧面，从理论上可解决了进刀方式，也可引进了“圆整”工艺，从而解决了钼电极加工螺纹过程中掉渣现象。但是，在FAUNC 0i数控系统中没有现成的多重复合循环命令，只能通过宏指令来构建加工循环模块以达到所需要的加工目的。

## 二、钼电极加工宏程序设计

在钼螺纹加工工艺中，关键在于螺纹粗加工环节。因此，宏程序设计主要围绕螺纹加工进行设计。从上文分析可以看出，在宏程序的设计中必须做到：从螺纹两边同时“赶刀”且螺纹参数尽可能自动计算。

### 1、宏程序数学原理

参数的设置和计算方法影响宏程序的设计的优良。宏程序模块中的参数计算必须从原理上入手，尽可能用宏程序编写的数学计算公式表达，避免因计算精度而影响加工精度。在该宏程序模块设计中，以下几个参数有必要深入的了解其数学计算原理。

(1)、螺纹牙高计算 在传统车床螺纹加工中，螺纹的牙高笼统地按照经验公式  $h=0.6495P$  ( $P$  为螺距) 进行计算。而目前数控加工工艺教材所列出的牙高数据并没说明具体算法。通过对螺纹分析和国标的查询，考虑刀尖半径、螺纹偏差和公差的影响，如图2、图3所示的几何关系可以得到：

$$\text{外螺纹牙高: } h = \frac{7H}{8} - r + \frac{es}{2} + \frac{T_{d_2}}{4}$$

$$\text{内螺纹牙高: } h = \frac{6H}{8} - r + \frac{EI}{2} + \frac{T_{D_2}}{4}$$

其中  $H$  是三角螺纹原始牙高  $H = \sqrt{3}P/2$ ，而  $es$ 、 $EI$  则是外、内螺纹的基本偏差， $T_{d_2}$ 、 $T_{D_2}$  则为外、内螺纹中径公差。从公式可以看出，同螺距内、外螺纹牙高有差异，公式  $h=0.6495P$  实际上是  $h=6H/8$  的计算的结果。其中，刀尖半径  $r$  的计算是按螺纹国标对牙底圆弧半径最小的要求而设定的，为了计算方便，

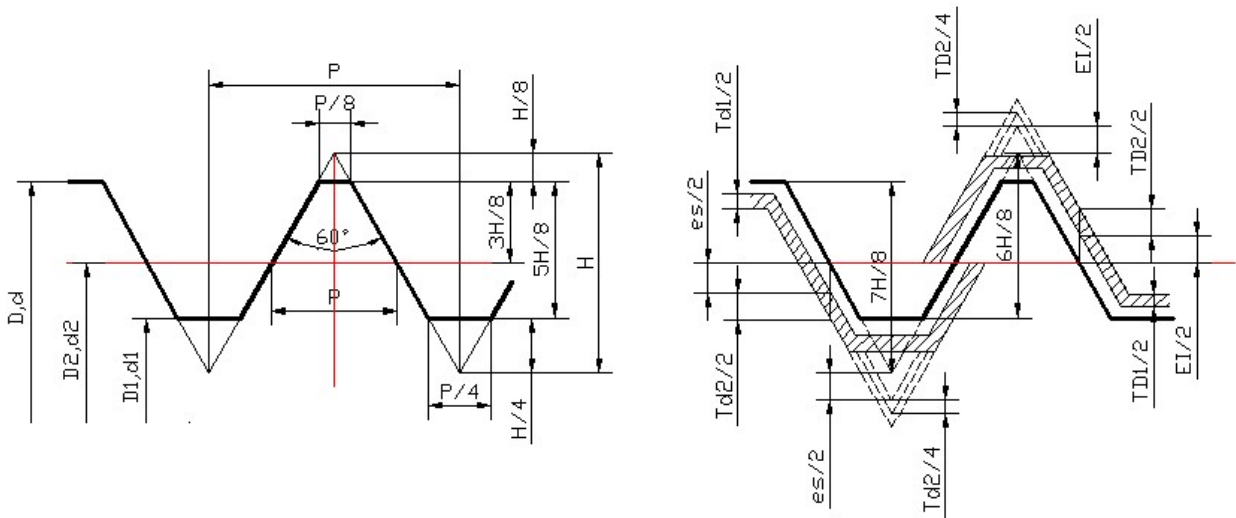


图 2 螺纹基本尺寸与公差带的位置

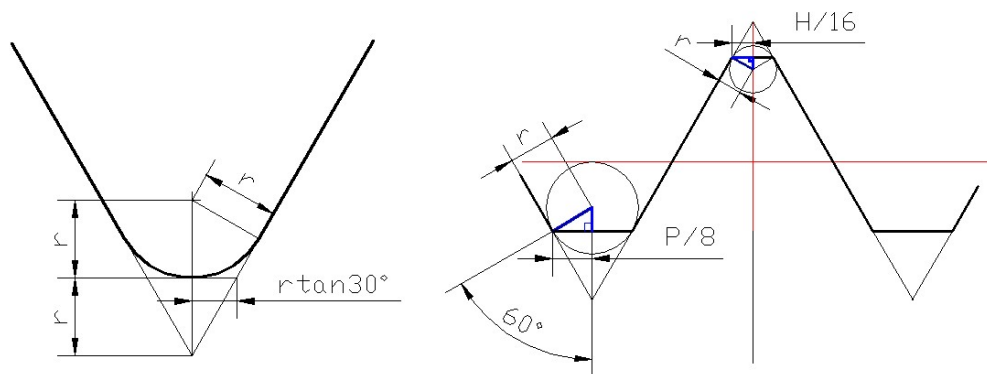


图 3 刀尖半径对螺纹底径的影响

刀尖半径  $r$  按照理论上最小半径进行计算。根据图 3 几何关系可得：

$$\text{外螺纹车刀理论最小半径: } r = \frac{P}{8\sin 60^\circ}$$

$$\text{内螺纹车刀理论最小半径: } r = \frac{P}{16\sin 60^\circ}$$

必须指出的是螺纹刀尖一般为圆弧形，上式为理想刀尖半径。如果实际刀尖半径大于理想半径，则会

产生理论上的过切；如果实际刀尖半径小于理想半径，则会产生理论上的不足；只要以上“过切”或“不足”在螺纹允许的精度范围内即可。实际刀尖半径须符合：外螺纹车刀刀尖半径  $0.125P < r < 0.144P$ 、内螺纹车刀刀尖半径  $0 < r < 0.072P$  即可。

(2)、切削深度计算 该宏程序模块进刀设计是参考 G76 的进刀方式的基础上提出来的，其具体进刀方式如图 4 所示。G76 多重复合循环命令需要给出最大切削深度和最小切削深度。为了简化计算，尽可能利用宏指令自动计算这两个参数，按照切削相同面积材料递进原则，其计算公式为：

$$\text{最大切削深度计算： } a_p(\max) = \frac{0.2}{3} \sqrt{h}$$

$$\text{最小切削深度计算： } a_p(\min) = \frac{0.2}{3} \sqrt{a_p(\max)}$$

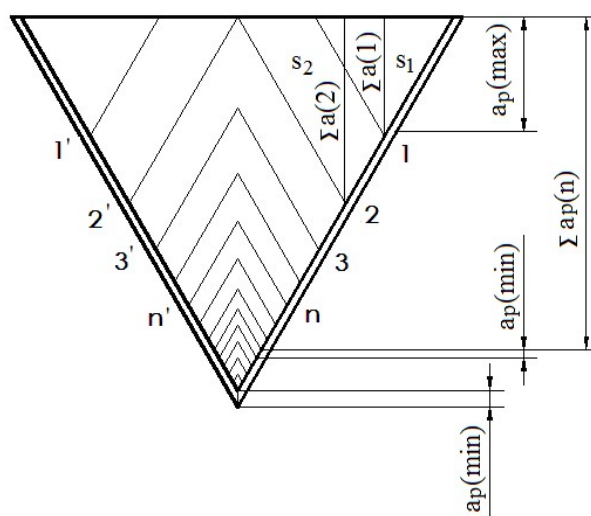


图 4 进刀方法

上述公式参数的得出是在实验的基础上所得的经验数值。以普通钢材为例，经验系数为 0.2，其含义是指最大切削深度为切除材料总面积的 20%，而最小切削深度则取最大切削深度的 20%，同时也作为精加工余量。钼电极作为难加工钼金属制品，切削深度应小于普通钢材的切削深度。切削深度大小影响钼电极加工效果和效率，实验发现其切削深度是普通钢材的 1/3，加工可以取得较好的效果和效率。每次切削深度的计算方法参考 G76 计算方法，其原理是保证车刀受力均匀，每次切削的材料面积相同。例如如图 4 所示，三角形面积  $S_1$  等于第二刀梯形面积  $S_2$  其深度分别为  $\Sigma a_p(1)$ ， $\Sigma a_p(2)$ ，螺纹牙型角为  $60^\circ$  则：

$$S_1 = S_2$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \times 2 \times \Sigma a_p(1) \times \tan 30^\circ \times \Sigma a_p(1)$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \times 2 \times \Sigma a_p(2) \times \tan 30^\circ \times \Sigma a_p(2) - S_1$$

$$\Sigma a_p(2) = \sqrt{2} \Sigma a_p(1)$$

依次类推，则可以得到以下两个重要参数计算公式：

$$\text{累计切削深度: } \sum a_p(n) = \sqrt{n} a_p(\text{max}) \quad (n \geq 1, n \in Z)$$

$$\text{每次切削深度: } a_p(n) = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) a_p(\text{max}) \quad (n \geq 1, n \in Z)$$

(3)、分层偏移量计算 分层偏移量是指每次螺纹加工，螺纹车道从起刀点向左侧或右侧偏移的距离，其几何关系如图 5 所示。根据上述有关参数的论述，可以得到：

$$\text{分层偏移量: } u = (h + r - a_p(\text{min}) - \sum a_p(n)) \tan 30^\circ - r \tan 30^\circ$$

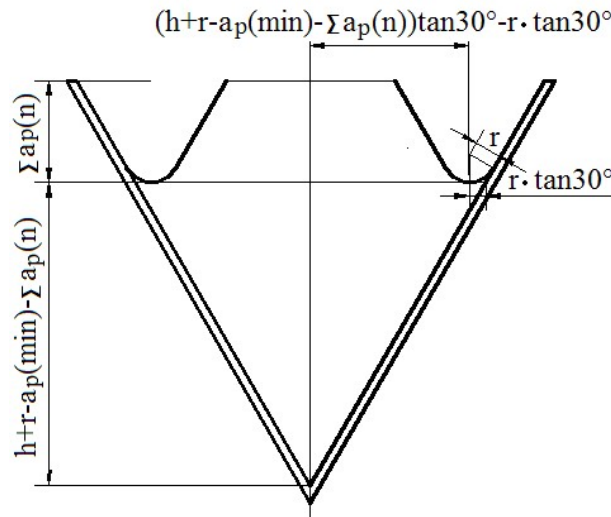


图 5 分层偏移量计算原理图

公式中的  $h$  是指上述定义的螺纹牙高， $h+r$  是为便于计算不考虑螺纹底径圆弧角，而  $h+r-a_p(\text{min})$  则是考虑精加工余量而设定。螺纹车刀对刀是以刀尖半径的中心为基准，为了防止“过切”，必须考虑刀尖圆弧半径对偏移量的影响，如图 3 所示其值为  $r \cdot \tan 30^\circ$ 。分层偏移量  $u$  并未简化，保持原有数学计算原理，为了日后方便调整和修改。

## 2、宏程序流程设计

通过借鉴 G76 螺纹加工走刀路线，该宏程序走刀路线设计成“左右对称式的 G76”，只是功能方面相对简单。具体情况参考图 6、图 7。为了加工方便，将起刀点设置到零件的起端，即外螺纹起刀点为  $(d+1, 0)$ 、内螺纹起刀点为  $(D_1-1, 0)$ ，自动计算升速阶段 ( $\geq 2P$  螺距) 和降速段 ( $\geq P$ )。为了使得螺纹末端螺纹牙型完整，自动计算升速段应大于  $2P$ ，即图中的“ $2P+$ ”。如果螺纹长度  $L$  不是螺距  $P$  的整数倍，则最后一道螺纹过切。因此，需要在升速段内附加一个值，圆整螺纹长度  $L$  为螺距  $P$  的整数倍，同时满足升速段大于  $2P$  的要求。每次加工车刀都会移动到指定的位置，按照预先设定的切削深度  $a_p(n)$ ，分别向左、向右依照自动分配的偏移量偏移进行加工。依次递进，直到第  $n$  次切削深度小于等于加工精度  $a_p(\text{min})$ ，随后按照  $a_p(\text{min})$  进给量进行加工，直至粗加工完成。最后用直进法切除精加工余量，加工完成。

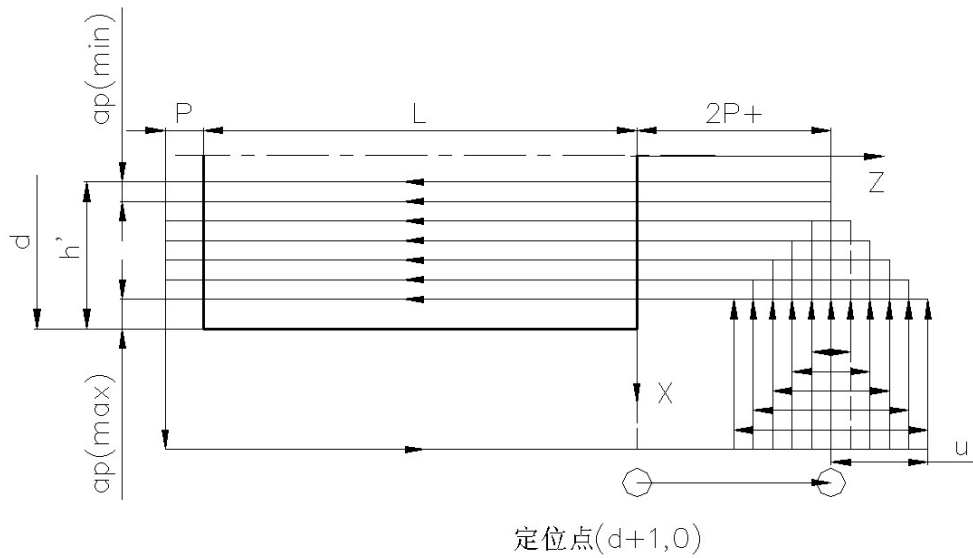


图6 外螺纹走刀路线

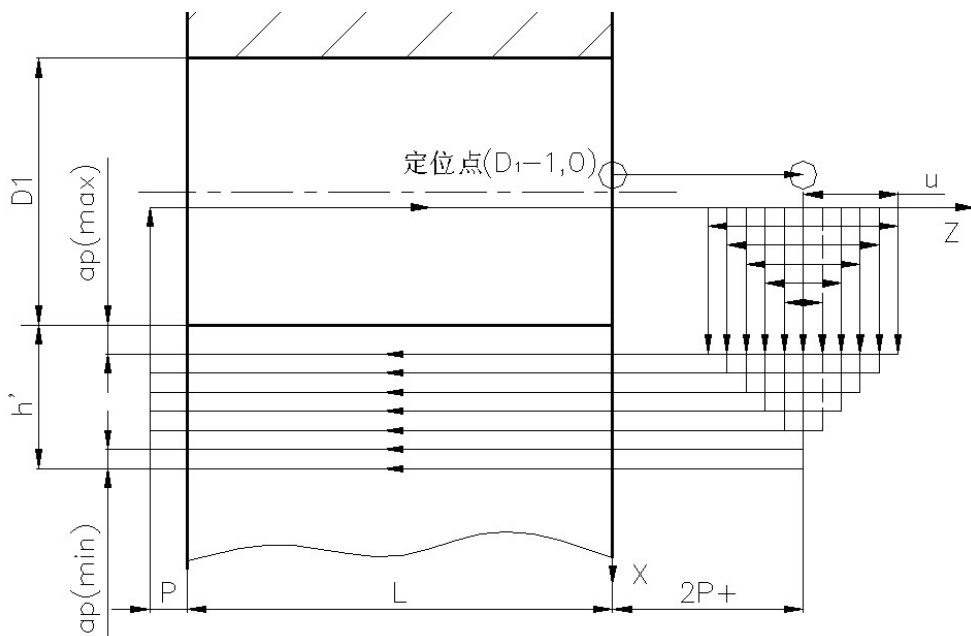


图7 内螺纹走刀路线

宏程序调用的方法有 M98 调用、G65 调用和自定义 G 代码调用这几种方法。M98 调用方式和子程序调用格式一致。G65 调用方式为非模态调用，系统为用户提供自定义地址号表达的变量值。自定义 G 代码则需要修改系统参数。为了方便调整和修改，本文所用 M98 调用。子程序调用指令 M98，其格式为：M98 Pxxx xxxx，P 地址后一般跟 7 位数字，其中前三位表示子程序调用循环次数，后四位表示调用的子程序名。当不指定循环次数，表示子程序只调用一次。从子程序返回 M99，其格式为：M99 Pxxxx。当前程序段的其他代码执行完成后，返回主程序中由 P 指定的程序段继续执行，当 P 未输入时，返回主程序调用当前子程序的 M98 代码的后一程序段继续执行。具体调用方法见图 8 所示。

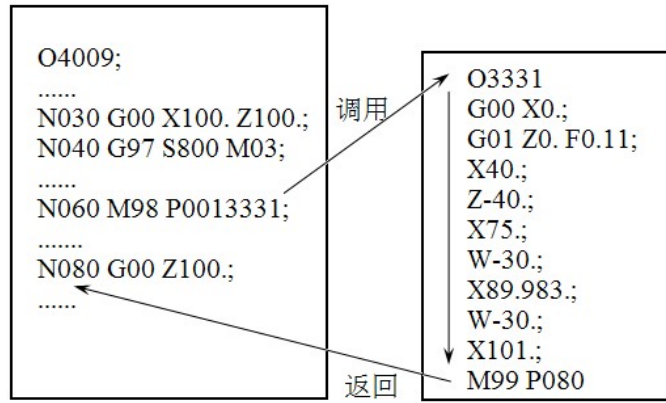


图 8 M98 子程序调用方法

综上所述，宏程序设计流程如图 9 所示：

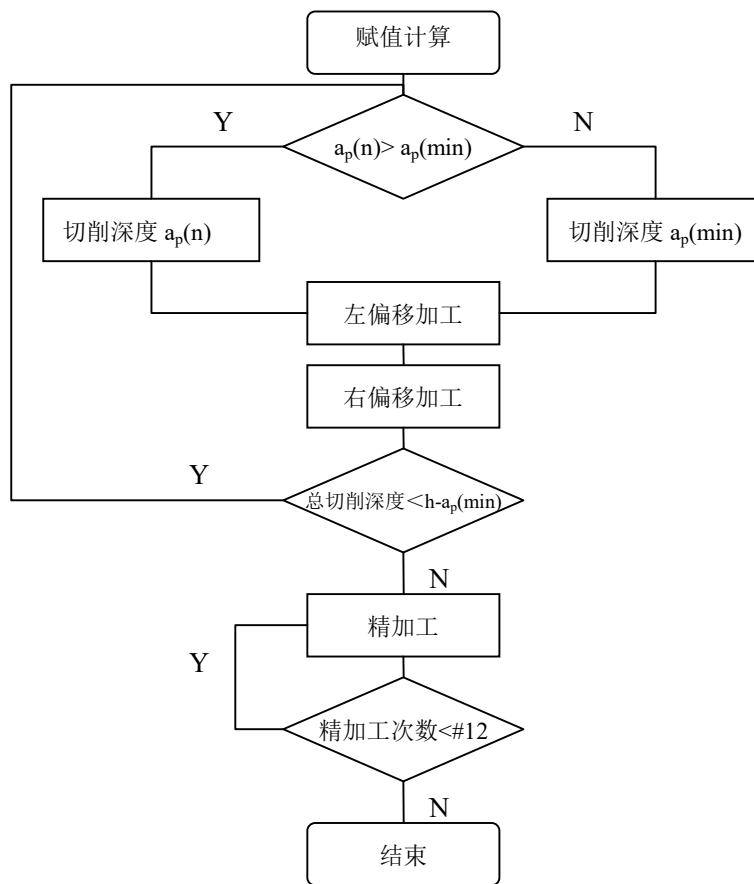


图 9 宏程序加工流程图

### 3、宏程序模块编写

FANUC 系统使用“#”表示变量，其中#1~#33 为局部变量，局限在宏程序中存储临时数据，诸如运算结果等，断电后局部变量被置为 0。#100~#109 为公共变量，虽然断电不能保存数据，但是可以在主程序和子程序调用。所以在#1~#33 中选择变量作为宏程序子程序模块变量，而在#100~#109 中选择变量作为主程序模块变量。参数的定义如表 2、表 3 所示：

表 2 主程序参数表

主参数	含义	说明
#100	d、D	公称直径，加工前需车顶径至 $d' \approx d - 0.125P$ ， $D' \approx D - P$ （塑性材料）或 $D' \approx D - 1.05P$ （脆性材料），与顶径公差 $T_{d_1}$ 、 $T_{D_1}$ 相关。
#101	P	螺距， $P \leq$ 螺纹刀片宽度的 $2/3$ 。
#102	L	螺纹标注长度、限定自右向左加工。
#103	es、EI	螺纹基本偏差，查表 G/BT 197-2003 普通螺纹公差。
#104	$T_{D_2}$ 、 $T_{d_2}$	螺纹中径公差，查表 G/BT 197-2003 普通螺纹公差。

表 3 子程序参数表

子参数	含义	说明
#1	$\delta_2$	降速段 $\delta_2 = P$ 。
#2	$\delta_1$	升速段 $\delta_1 = 2P + P +$ 下取整 $[L/P] * P - L$ 。
#3	r	刀尖半径， $r_{外} > 0.125P$ ， $r_{外} = P/8 \sin 60^\circ$ ； $r_{内} = P/16 \sin 60^\circ$ 。
#4	h	牙高计算，半径值。外螺纹与内螺纹牙高有差异。
#5	$a_p(\max)$	最大切削深度计算，半径值。
#6	$a_p(\min)$	最小切削深度计算，也作为精加工余量，半径值。
#7	n	加工次数计算，动态数值。
#8	$a_p(n)$	切削深度计算，n+1 次后以 $a_p(\min)$ 计算，半径值，动态数值。
#9	$\Sigma a_p(n)$	总切削深度计算，n+1 次后以 $a_p(\min)$ 自加计算，半径值，动态数值。
#10	u	分层偏移量计算，动态数值。
#11	$D_1$	自动计算内螺纹小径。
#12	n'	精加工次数，即提高螺纹表面质量所走的空刀次数。默认为 8 次。

参数调整方法。①升降速段的调整：调整或取消降速段，可调整程序#102 或#102=L- $\delta_2$  即可；调整升速段，可调整主程序定位点即可。②牙高的调整：可调整 #103 粗调螺纹的牙高；可调整#104 精调螺纹的牙高。③加工次数的调整：调整子程序参数#5 系数将影响第一刀切削深度  $a_p(\max)$  和加工次数 n。增大系数，则增大第一刀切削深度  $a_p(\max)$ 、减少加工次数 n，反之亦然。④精加工余量的调整：调整子程序参数#6 系数将影响最小切削深度、精加工余量  $a_p(\min)$  和加工次数 n。增大系数，可增大最小切削深度、精加工余量  $a_p(\min)$ ，并明显地缩减加工次数 n，提高了加工效率，反之亦然。⑤精加工次数的调整：调整#12 的数值以适应不同加工情况。适当删减参数，可修改成左右切削法；适当增加参数，可扩展加工锥形三角螺纹、双线多线三角螺纹等。

根据以上参数的设置和定义，按照加工流程图，用宏程序编制主程序、外螺纹子程序和内螺纹子程序。通过试加工调整子程序中的有关参数以适应加工。一般情况下子程序作为模块程序无需改动，只要在主程序中赋值调用即可。其程序如下：



```

OXXXX ;主程序
.....
G01 X** ;预先加工螺纹顶径到要求尺寸；
.....
G00 X** Z** ;定位点，螺纹起点顶径上方任意位置。
G97 S** M03 设置车螺纹速度；
#100=** ;螺纹公称直径；
#101=** ;螺纹螺距；
#102=** ;螺纹标注长度；
#103=** ;螺纹基本偏差；
#104=** ;螺纹中径公差；
M98 P0013331/P0013330; 调用子程序；
.....
%
O3331;外螺纹子程序；
#1=1.*#101;计算降速段；
#2=2.*#101+#101+FIX[#102/#101]*#101-#102;计算升速段；
#3=#101/[8*SIN[60]];刀尖半径；
#4=[7./8.]*SIN[60]*#101-#3+#103/2.+#104/4.;计算外螺纹牙高；
#5=[0.2/3.]*SQRT[#4];计算最大切削深度；
#6=[0.2/3.]*SQRT[#5];计算最小切削深度；
#7=1.;加工次数；
#8=#5*[SQRT[#7]-SQRT[#7-1.]];计算切削深度；
#9=#5*SQRT[#7];计算总切削深度；
#10=[#4+#3-#6-#9]*TAN[30] -#3*TAN[30];计算每次偏移量；
#12=8.0; 精加工次数；
G01 X[#100+1.] W[#2] G99 F0.5;定位；
N10 G01 W[-#10];循环开始，向左偏移；
G92 X[#100-2.*#9] W[-#2-#102-#1] R0 F#101;螺纹加工；
G01 W[2.*#10]; 向右偏移；
G92 X[#100-2.*#9] W[-#2-#102-#1] R0 F#101;螺纹加工；
G01 W[-#10];回中间点；
#7=#7+1.;加工次数自加 1；
#8=#5*[SQRT[#7]-SQRT[#7-1.]];计算每次切削深度；
IF[#8GE#6] THEN #9=#5*SQRT[#7];如果  $ap(n) > ap(\min)$ ，则总切削深度按  $\sum ap(n)$  计算。

```

IF[#8LT#6] THEN #9=#9+#6;如果  $ap(n) < ap(\min)$ , 则总切削深度以后每次自加  $ap(\min)$ 。  
 #10=[#4+#3-#6-#9]\*TAN[30] -#3\*TAN[30];计算下次偏移量;  
 IF[#9LT[#4-#6]] GOTO10; 如果总切削深度 $<h-ap(\min)$  跳回 N10 处循环, 否则跳出。  
 G92 X[#100-2.\*#4+2.\*#6] W[-#2-#102-#1] R0 F#101;直进法粗车, 保留精车余量;  
 X[#100-2.\*#4];直进法精车;  
 N20 G92 X[#100-2.\*#4] W[-#2-#102-#1] R0 F#101;精加工 (空刀);  
 #12=#12-1.0; 精加工次数  
 IF[#12GT0.] GOTO20; 如果精加工次数大于零, 跳回 N20 则继续进行精加工 (空刀);  
 M99;子程序跳出;  
 O3330;内螺纹子程序;  
 #1=1.\*#101; 计算降速段;  
 #2=2.\*#101+#101+FIX[#102/#101]\*#101-#102;计算升速段;  
 #3=#101/[16\*SIN[60]];刀尖半径;  
 #4=[6./8.]\*SIN[60]\*#101-#3+#103/2.+#104/4.;计算外螺纹牙高;  
 #5=[0.2/3.]\*SQRT[#4];计算最大切削深度;  
 #6=[0.2/3.]\*SQRT[#5];计算最小切削深度;  
 #7=1.;加工次数;  
 #8=#5\*[SQRT[#7]-SQRT[#7-1.]];计算切削深度;  
 #9=#5\*SQRT[#7];计算总切削深度;  
 #10=[#4+#3-#6-#9]\*TAN[30] -#3\*TAN[30];计算每次偏移量;  
 #11=#100-2.\*[5./8.]\*SIN[60]\*#101;计算内螺纹小径;  
 #12=8.0; 精加工次数;  
 G01 X[#11-1.] W[#2] G99 F0.5;定位;  
 N10 G01 W[-#10];循环开始, 向左偏移;  
 G92 X[#11+2.\*#9] W[-#2-#102-#1] R0 F#101; 螺纹加工;  
 G01 W[2.\*#10]; 向右偏移;  
 G92 X[#11+2.\*#9] W[-#2-#102-#1] R0 F#101; 螺纹加工;  
 G01 W[-#10];回中间点;  
 #7=#7+1.;加工次数自加 1;  
 #8=#5\*[SQRT[#7]-SQRT[#7-1.]];计算每次切削深度;  
 IF[#8GE#6] THEN#9=#5\*SQRT[#7];如果  $ap(n) > ap(\min)$ , 则总切削深度按  $\Sigma ap(n)$  计算。  
 IF[#8LT#6] THEN#9=#9+#6;如果  $ap(n) < ap(\min)$ , 则总切削深度以后每次自加  $ap(\min)$ 。  
 #10=[#4+#3-#6-#9]\*TAN[30] -#3\*TAN[30];计算下次偏移量;  
 IF[#9LT[#4-#6]] GOTO10; 如果总切削深度 $<h-ap(\min)$  跳回 N10 处循环, 否则跳出。  
 G92 X[#11+2.\*#4-2.\*#6] W[-#2-#102-#1] R0 F#101; 直进法粗车, 保留精车余量;

X[#11+2.\*#4];直进法精车

N20 G92 X[#11+2.\*#4] W[-#2-#102-#1] R0 F#101;精加工（空刀）；

#12=#12-1.0; 精加工次数自减 1；

IF[#12GT0] GOTO20;如果精加工次数大于零，跳回 N20 则继续进行精加工（空刀）；

M99;子程序跳出；

### 三、钼电极加工宏程序实例

#### 1、实例加工

根据实际需要，以验证宏程序模块的运行。在此子程序预先输入 FAUNC 0i 系统前置刀架数控系统中，使用化学气相沉积（CVD）涂层车刀，选择以冷却为目的的水溶性切削液，先以单刀的形式进行切削加工，在保证螺纹尺寸精度的基础上，以检查掉渣现象是否解决且两侧表面粗糙度是否一致。

加工图如图 10 所示，为了简化程序方便验证，设定外、内螺纹外径、退刀槽和倒角等结构已经加工完成，现在只需进行内外螺加工即可。根据图样给出的数据，查找 GB00196-2003 普通螺纹基本尺寸、GBT197-2003 普通螺纹公差 M50 螺纹有关参数，见表 7。

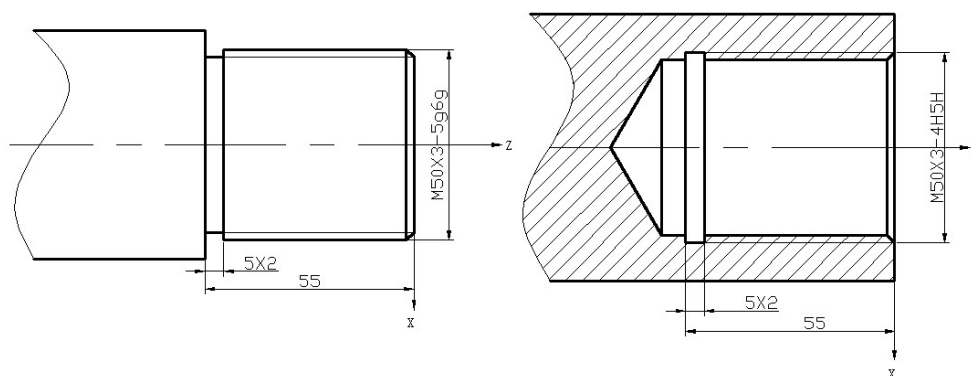


图 10 外内螺纹加工

表 4 M50 螺纹参数

名称	外螺纹	内螺纹
螺纹代号	M50X3-5g6g	M50X3-4H5H
中径 es/EI	0.048mm	0.000mm
公差 $T_{d_2}/T_{D_2}$	0.170mm	0.180mm
大径 d/D	$\phi 50 \begin{matrix} -0.048 \\ -0.423 \end{matrix}$ (49.577~49.952)mm	$\phi 50$ mm
中径 $d_2/D_2$	$\phi 48.051 \begin{matrix} -0.048 \\ -0.218 \end{matrix}$ (47.833~48.003)mm	$\phi 48.051 \begin{matrix} +0.18 \\ 0 \end{matrix}$ (48.05~48.231)mm
小径 $d_1/D_1$	$\phi 46.752$ mm	$\phi 46.752 \begin{matrix} +0.4 \\ 0 \end{matrix}$ (46.752~47.152)mm
牙高 h	1.907mm	1.777mm

根据宏程序主程序要求，只需要在主程序中赋值并调用子程序即可。

需要赋值的参数有螺纹公称直径、螺纹螺距、螺纹标注长度、螺纹基本偏差、螺纹中径公差。这些参数是比较容易直观得到，简化参数计算和调整的难度。具体的程序如下：

O4009;主程序;  
T0101;外螺纹车刀;  
G00 X55.Z0. ;定位;  
G97 S400 M03 M8; 设置车螺纹速度、开切削液;  
#100=50.;螺纹公称直径;  
#101=3.; 螺纹螺距;  
#102=50.;螺纹标注长度;  
#103=0.048; 螺纹基本偏差;  
#104=0.170; 螺纹中径公差;  
M98 P0013331; 调用子程序;  
G00 X100.Z100. 回参考点;  
T0100;取消刀补;  
M5;程序停止;  
M9;关闭切削液;  
M30;程序结束;  
%  
O4010;主程序;  
T0101;内螺纹车刀;  
G00 X100.Z100. ;定位;  
X45.;定位;  
Z10.;定位;  
G01 Z0 F0.5; 定位;  
G97 S400 M03 M8; 设置车螺纹速度、开切削液;  
#100=50.;螺纹公称直径;  
#101=3.; 螺纹螺距;  
#102=50.;螺纹标注长度;  
#103=0;螺纹偏差;  
#104=0.180; 螺纹精度等级;  
M98 P0013330; 调用子程序;  
G00 Z100.;回参考点;  
X100. ;回参考点;  
T0100;取消刀补;  
M5;程序停止;  
M9;关闭切削液;  
M30; 程序结束;

%

## 2、实例检测

在 FANUC Oi 数控系统前置刀架数控车床加工实践验证, 该宏程序加工钨电极螺纹的方法切实可行的。必须指出的该宏程序模块是不涉及内、外螺纹顶径尺寸精度。这是因为内、外螺纹顶径尺寸精与预先加工精度有关, 实例中外螺纹加工前光杆需要加工到  $\phi 49.625$ , 而内螺纹光孔是需要加工到  $\phi 46.850$ , 其顶径检测是合格的。螺纹中径的检测符合精度要求。螺纹中径公差尺寸主要与螺纹牙高有关, 在主程序中只需在理论螺纹中径公差的基础上, 调整#103(粗调)或#104(精调)参数, 即可调整该螺纹牙高, 从而保证螺纹中径尺寸精度要求, 以适应螺纹加工对螺纹中径的不同要求。螺纹其它参数都达到了所要求的数值, 解决了掉渣现象, 尤其是螺纹槽两侧面粗糙程度一致, 达到所期望的功能, 取得了比较理想的效果。

数控编程只是数控加工中一个重要的环节, 关键还是需要正确的加工工艺。FANUC Oi 系统提供的多重复合循环虽然为加工提供了方便, 但是又有许多条件和限制。为满足生产加工的需要, 宏程序的编制是学习数控必经之路, 是领悟数控编程精髓提高生产效率唯一途径。

### 参考文献:

- [1]. 韩鸿鸾.数控加工工艺学[M].北京:中国劳动社会保障出版社.2013.109-114.
- [2]. 顾力平.数控机床编程与操作[M].北京:中国劳动社会保障出版社.2005.99-100.
- [3]. 孙从科, 陈淳辉. 探究用宏指令构建数控车削梯形螺纹模块[J]. 装备制造技术. 2014(04).226-227.
- [4]. 郑智. 数控车削加工编程中宏程序应用技巧[J]. 黑龙江科技信息. 2015(10).102
- [5]. 刘如奎. 数控车编程中用户宏程序应用[J]. 数字技术与应用. 2015(05).5
- [6]. 冯永星. 利用宏指令实现数控程序的防误功能[J]. 金属加工(冷加工). 2015(01).72-75.
- [7]. 葛卫国. 基于宏程序在数控车床编程中的运用与探讨[J]. 制造业自动化. 2010(04).68-70.
- [8]. 张恒. FANUC 系统宏指令在数控车削循环中的应用[J]. 价值工程. 2014(13).45-46.
- [9]. 穆瑞, 张亚萍, 王晓莉. FANUC 数控系统宏程序在梯形槽加工中的应用研究[J]. 扬州职业大学学报. 2015(01).18-21
- [10]. 臧兆磊. FANUC OiT 数控车床使用非循环指令加工零件方法[J]. 科技创新导报. 2015(07).69-70.