数控机床主轴转速浮动功能的开发与应用

周德民，段玉成，彭华武，徐红安
江山重工研究院有限公司　湖北襄阳　441057

摘要：着重阐述了数控机床主轴转速浮动对改善加工精度的作用，开发了2种实现主轴转速浮动功能的方法：方法1在PLC控制程序中，设置M指令控制主轴转速浮动功能的开关动作，编写主轴增、减速时间控制程序；方法2采用宏程序的方式。

关键词：主轴；转速浮动；PLC；宏程序

1　序言

在机床切削加工过程中，特别是细长轴车削、深孔镗削、刀具悬伸长度较长以及工件刚性差等加工场合，我们常常遇到工件、刀具及机床发生强烈振动的现象，通常会伴随刺耳的啸叫声，这种现象会导致工件加工表面质量不均匀、表面粗糙度高，严重影响零件的加工质量。

以数控车床为例，在正常的切削情况下，刀具与工件产生一定的振动，对工件的表面粗糙度影响不大。但在切削工况变差的情况下，刀具接触工件时，圆周上的接触点会产生不规则的变化，使工件和刀具之间产生共振，这种振动导致了不均匀的、粗糙的工件表面，粗糙的表面使刀具振动进一步增大，引起振动的加剧，并且一直循环下去。这种工件与刀具之间的强烈振动，导致刀具与工件高频次地出现接触与非接触的断续切削现象，从而产生了表面粗糙度高、表面质量差的现象。

主轴转速浮动是改善这一问题的方法之一，即在加工过程中，主轴转速按一定的规律循环增速与减速，来产生主轴转速小幅波动的效果，使刀具的振动频率远离共振区域，抑制机床加工中的振刀，阻止振动进一步加剧，从而达到降低零件表面粗糙度数值、提高表面加工质量的效果。

2　PLC程序方式实现主轴转速浮动

以数控机床主轴倍率控制功能改变主轴转速为思路，通过PLC程序自动切换倍率[1]，来实现主轴转速浮动。下面以FANUC数控系统为例，详细叙述通过PLC程序实现主轴转速浮动功能的具体方法。

2.1　通过M指令开通或关闭主轴转速浮动功能

在原机床中，筛选出未使用的2个M指令，用于主轴转速浮动功能的开通与关闭，如设定M61为开通主轴转速浮动功能，M62为关闭主轴转速浮动功能。当加工程序执行M61时，自动开通主轴转速浮动功能，当执行M62、M30（程序执行结束）或复位时，自动关闭主轴转速浮动功能。在机床的PLC程序中，编写M62、M61相关控制程序（见图1），包括执行M61或M62指令时的置位与复位，以及M指令完成信号的输出。

2.2　编写增、减速时间控制程序

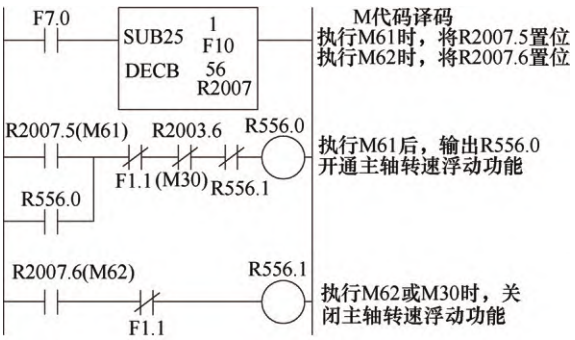

图1　M指令控制程序

在开通主轴转速浮动功能后，在PLC程序中需编写每个时间段主轴增速或减速的控制程序，来完成主轴转速变化的自动切换。从机床原PLC程序中找出2个没使用过的定时器（如T15、T16），通过

两个时间定时器的延时切换控制，输出转速变化的切换信号。两个切换时间的长短，可通过定时器的设定画面，根据加工实际状况进行选择性设定。增、减速时间设定程序如图2所示。

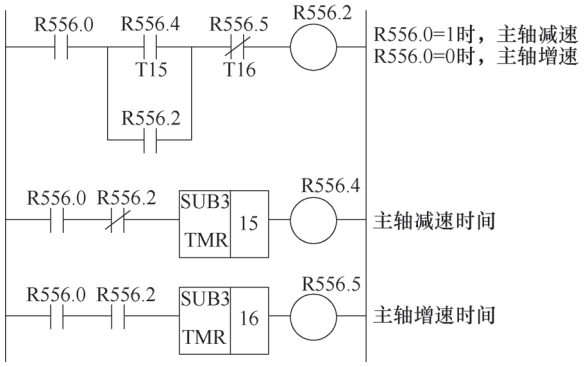

图2　增、减速时间设定程序

2.3　编写主轴转速浮动的控制程序

主轴转速浮动由主轴倍率的改变来实现。在开通主轴转速浮动功能时，通过R556.0置1，关闭原PLC程序中主轴倍率控制功能，同时开启新增的用于主轴转速浮动功能的主轴倍率控制程序。主轴倍率的改变，通过多组主轴转速倍率的设定来实现，每组倍率包括一个增速倍率和一个减速倍率。每组主轴倍率列在数据表中，可根据加工实际状况，进行多段倍率选择。

首先在数据表中，建立一个新的数据表（避免与原程序中使用的数据表发生冲突），设定数据表的参数为十进制数、位类型，选定该数据表组的多个数据地址[2]，例如设定D3000、D3001为第一组主轴倍率：D3000设为90，表示主轴倍率为90%，为减速；D3001设为110，表示主轴倍率为110%，为增速。同理D3002、D3003为第2组，可分别设为80和120，表示主轴倍率为80%减速和120%增速。并将每个时间段对应的主轴倍率传送到G30中。加工时，根据设定的倍率变化要求，自动实现主轴转速浮动。主轴增、减速倍率设定程序如图3所示。

3　宏程序方式实现主轴转速浮动

通过宏程序的方式，以变量的方式设定转速浮动的主轴转速初始值#2、转速浮动量#3和转速浮动1次的时间#4这3个主要的参数。以角度#7为变量[3]，引入正弦函数作为计算实时转速的浮动值，使主轴转速按照正弦曲线，在（#2＋#3）至（#2－

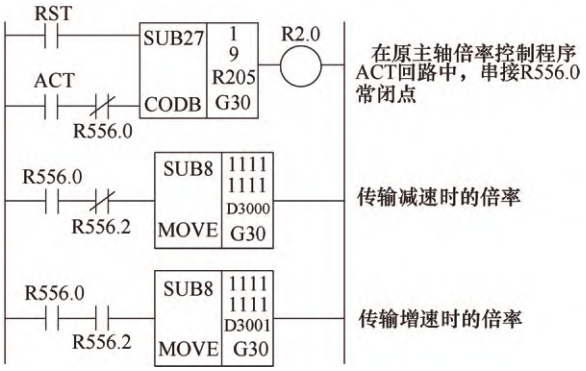

图3　增、减速倍率设定程序

#3）的区间范围内进行浮动变化。以车削加工ϕ20mm、长度为200mm的工件外圆为例，FANUC数控系统转速浮动方式加工程序如下。

```
%
O4008（转速浮动方式加工）
#1=200（加工外圆的长度）
#6=3（切削起点的Z值）
#2=1000（主轴转速初始值，单位r/min）
#9=0.2（进给量，单位mm/r）
#3=200（转速浮动量，单位r/min）
#4=2（转速浮动1次的时间，单位s）
T0101
M3 S#2（主轴正转，转速为#2）
G0 Z5
X20.
#7=0（角度初始值）
#8=6（角度步距）
#5=60/#4（转速浮动的频率，单位为次/min）
#11=ROUND[#2*#9/#5*1000]/1000（转速浮动1次刀具切削的长度）
#17=1（计数器初始值）
#18=ROUND[[#1+#6]/#11]（转速浮动的总次数）
#10=#6-[#1+#6-#11*#18]（首次切削时的Z轴坐标值）
G1 Z#10 F0.3
WHILE[#17 LE #18]DO2（当#17≤#18时，执行从DO2到END2的程序）
WHILE[#7 LE 360]DO1（当#7≤360时，执行从DO1到END1的程序）
#15=#3*SIN[#7]+#2（主轴的实时转速，以正弦曲线方式进行变化）
#16=#7/360*#11+[#17-1]*#11-#10（Z轴实时坐标值）
```

（下转第71页）

表8　TRAILON、TRAILOF指令含义

内容	含义
TRAILON	用于启用和定义耦合轴组合的指令
<跟随轴>	耦合轴的名称 一个耦合轴也可以是其余耦合轴的引导轴，以这种方式可以建立不同的耦合组合
<引导轴>	引导轴的名称
<耦合系数>	耦合系数说明了耦合轴和引导轴位移之间的关系 <耦合系数>＝耦合轴位移/引导轴位移 缺省设置：1 负值表明引导轴和耦合轴在相反方向运行
TRAILOF	关闭耦合组合的指令 有2个参数的TRAILOF只会关闭指定引导轴的耦合

以两轴螺旋铣锁销孔沉台部分程序（见表9）为例，通道2通过TRAILON指令，完成X_2、Z_2轴相对通道1的联动；达到等待标记1后，通道1开始执行螺旋铣指令，通道2主轴与通道1主轴联动加工；达到等待标记3后，双通道分别通过TRAILOF断开主轴联动，执行G0的抬刀操作。

通过联动轴指令，可以保证在多轴联动加工过程中双主轴动作完全同步且加工刀路正常。

表9　两轴螺旋铣锁销孔沉台部分程序

通道1	通道2
M3S2000 G0Z3 WAITM(1,1,2) G2I-6 Z-1.5 F500 TURN=5 G2I-6 F500 WAITM(3,1,2) G0Z14	M3S2000 G0Z3 TRAILON(X,X2,-1) TRAILON(Z,Z2) WAITM(1,1,2) WAITM(3,1,2) TRAILOF(X,X2) TRAILOF(Z,Z2) G0Z14

4　结束语

本文通过对一次装夹完成前轴零件毛坯到成品的加工工艺路线的探索，对夹具原理、编程思路及主要难点问题进行阐述。具体子程序编制过程仅涉及基本的G代码与M指令等内容，未做展开论述，主要基于西门子SINUMERIK 840D sl数控系统的变量（R参数）功能、程序跳转功能以及多通道协调、轴耦合等功能进行说明与展示。基于以上这些功能，可实现前轴产品从图样到自动化加工程序的直接转化，实现调整零废品，降低了新产品编程门槛及程序编制难度。

本文工艺及程序设计的思路，可以推广到其余复杂工件的整体编程过程中，即将产品几何参数通过用户变量与机床程序坐标点直接关联，将传统编程调试中找点→验证→补偿这一反复修正过程，转化为计算→加工→合格一次成功的过程。

参考文献：

[1] 王吟洪. 汽车前轴切削加工技术的改进[J]. 汽车工艺师，2006（5）：56，58，60.

[2] 马辉. R参数编程在数控铣削外球面加工中的应用[J]. 邢台职业技术学院学报，2013，30（5）：99-101.

[3] 赵全锦. 西门子数控系统耦合轴功能（COUPLEDAXES）的应用[J]. 制造技术与机床，2002（7）：38-39，59.

MW 20240717

（上接第65页）

```
M3 S#15 G1 Z-#16 F#9（转速浮动方式进行切削加工）
#7=#7+#8
END1
#7=0
#17=#17+1
END2
G1 X50. F0.3
G0 X100
M30
%
```

4　结束语

经实际加工验证，主轴转速浮动功能的引入，对改善工件表面质量有着明显的效果。通过PLC程序方式与宏程序方式实现主轴转速浮动功能，既简单又实用，是实现数控机床主轴转速浮动功能比较经济有效的方法。

参考文献：

[1] 李宏胜. FANUC数控系统维护与维修[M]. 北京：高等教育出版社，2011.

[2] 曹智军. FANUC PMC控制技术[M]. 北京：机械工业出版社，2015.

[3] 许云飞. FANUC系统数控铣床编程与加工[M]. 北京：电子工业出版社，2014.

MW 20240716