

# 卧式加工中心空间坐标转换模块开发与利用

李红军 李春 李建强 张博 任博

(中国航发西安动力控制科技有限公司 陕西 西安 710077)

**摘要:** 针对卧式加工中心工件装夹时坐标尺寸不易得、找正难度大、调试时间长的问题, 本文对空间坐标转换模块进行了研究。首先, 根据零件形状要求构建不同坐标系, 并根据几何模型和图样尺寸列出各坐标系之间的计算关系, 然后再利用系统宏代码进行坐标转换, 计算出工作台旋转任意角度后的新坐标点位, 从而使机床主轴能够快速定位到工件上的这一新坐标点位, 可以实现工件任意角度下的多面加工。

**关键词:** 数控程序; 坐标转换; 宏程序; 系统变量; G10 指令

## 0 引言

卧式加工中心工作台可以绕 Y 轴 360° 旋转, 理论上工件一次装夹可以实现四周所有内容的加工。比较理想的状态是工件的编程原点与机床工作台旋转中心重合, 这就需要利用杠杆百分表人为慢慢调整, 整个过程需要 30min 左右甚至更长。对于调试频率较高的岗位来说劳动强度较大, 尤其涉及斜孔系加工时, 其坐标尺寸不易直接得到, 调试过程耗时耗力。还有一些特殊工件根本无法找正, 此时工件坐标尺寸计算量较大, 尺寸精度亦无法保证, 常常需要借助计算机作图完成。在零件调试阶段, 该问题严重影响产品生产效率及交付能力。如何能让操作者按照零件的图纸尺寸找正工件的基准, 不用考虑工作台带动工件旋转后的点位变化, 就可以在找正基准下的坐标系内直接编程, 快速地进行加工呢? 本文针对此问题开展研究和探讨。

## 1 难点分析

(1) 需建立数学模型进行分析, 且模型不止一个, 其相互关系复杂、计算量大。

(2) 涉及系统后台变量处理。需要调用大量参数进行计算, 需对宏程序知识相当熟练。

(3) 通用性验证及稳定性调试。后期调试需要大量时间, 针对不同工件坐标系的计算需 100% 准确。

(4) 要使该模块更具推广性。调试合格后不仅能在本机床上完美运行, 还要在同系统其他机床上正常使用。

## 2 项目实施过程

### 2.1 建立数学模型

为实现机床转位后工件坐标系的换算, 首先需要建立一个如图 1 所示的数学模型。 $O$  点为工作台的旋转中心 (设置为 G59 坐标系), 工件在转位前的编程坐标系原点为 1 点, 该点在 G59 坐标系中的坐标为  $(\Delta X_1, \Delta Z_1)$ , 通过杠杆百分表找正后, 将该点坐标输入机床坐标系 (设置为 G58 坐标系)。由于 1 点与  $O$  点不重合, 在工作台旋转一定角度后 (机床工作台顺时针为正, 逆时针为负), 坐标系原点 1 点在机床坐标系中的位置发生变化, 根据几何关系推导和数学公式计算, 可求出在不同工位时工件坐标系的零点偏置值。当工作台绕  $O$  点转过  $A$  角度后, 工件新位置见图 1 虚线。

### 2.2 转位后的坐标计算过程

转位之后的孔位新坐标值  $(X_2, Z_2)$  的计算过程如下:

$$\Delta X_1 = X_{G59} - X_{G58}$$

$$\Delta Z_1 = Z_{G59} - Z_{G58}$$

$$R = \sqrt{(\Delta X_1 + X_1)^2 + (\Delta Z_1 + Z_1)^2}$$

$$B = \arcsin\left(\frac{\Delta Z_1 + Z_1}{R}\right)$$

$$C = 90^\circ - (B + A)$$

$$X_2 = R \times \sin C$$

$$Z_2 = R \times \cos C$$

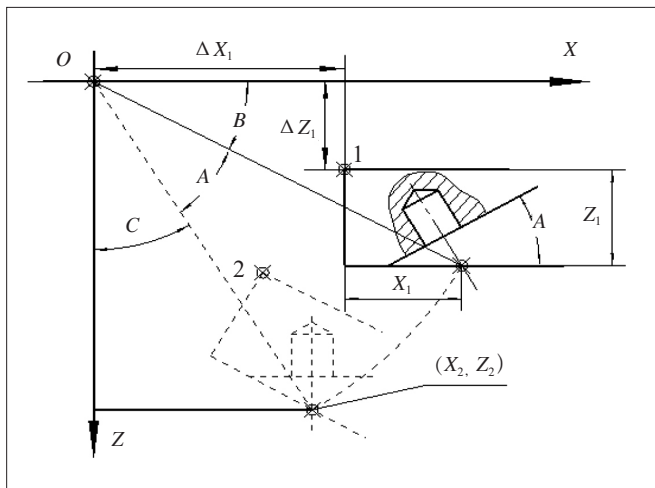


图1 数学模型示意图

式中： $X_1$ 、 $Z_1$ —被加工部位在G58坐标系下的坐标值，该数值可以从零件设计图纸上直接得到。

利用上述推导公式可以求得新工位下被加工位置的坐标值 $(X_2, Z_2)$ 。卧式加工中心的工作台是绕着Y轴旋转的，所以对Y轴坐标没有影响，Y轴零点值不变，可以不用考虑<sup>[1]</sup>。

### 2.3 系统变量赋值

为了使操作更简单便捷准确，可以利用机床系统参数，在后台自动输入坐标值到新坐标系中。这样做的好处在于新孔位独立使用坐标系，不易与其他坐标发生混淆，后期修改比较方便而且不易出错。具体操作思路如下：

将转位前G58坐标系的Y坐标值赋给G54坐标系的Y系统变量#5222号参数；

将转位前G58坐标系的B值坐标赋给G54坐标系的B系统变量#5304号参数；

将转位后的X向坐标值 $X_2$ 赋值给G54坐标系中的X系统变量#5221号参数；

将转位后的Z向坐标值 $Z_2$ 赋值给G54坐标系中的Z系统变量#5223号参数。

#5221= $X_2$ ；……………（令G54的 $X=X_2$ ）

#5222=Y；……………（令G54的 $Y=Y$ ）

#5223= $Z_2$ ；……………（令G54的 $Z=Z_2$ ）

#5224=#5304……………（令G54的角向=G58的角向）

### 2.4 宏代码编制及应用方法

O9010(G20)；

#100=#5321-#5301；……………（计算 $\Delta X_1$ 值）

#101=#5323-#5303；……………（计算 $\Delta Z_1$ 值）

#18=SQRT[[[#100+#24]\*[#100+#24]]+[[#101+#26]\*[#101+#26]]；……………（计算旋转半径R）

#102=ASIN[[#100+#24]/#18]；……………（计算初始角）

#103=90-[#1+#102]；……………（计算新坐标下的孔位与Z轴夹角）

#104=#18\*SIN[#103]；……………（计算新坐标 $X_2$ ）

#105=#18\*COS[#103]……………（计算新坐标 $Z_2$ ）

#5221=#104；……………（令G54 $X=X_2$ ）

#5222=#25；……………（令G54 $Y=Y$ ）

#5223=#105；……………（令G54 $Z=Z_2$ ）

#5224=#5304；……………（令G54 $B=G58B$ ）

IF[#7GE1]GOTO1；……………（判断是否使用新坐标系）

N1 G10 L20 P#7 X#5221 Y#5222 Z#5223 b#5224+#1；……………（新坐标系取值）

M99；……………（返回主程序）

在具体应用时，只需要将 $X_1$ 、 $Z_1$ 及旋转角度A进行赋值即可。空间坐标转换模块适用于直角坐标系下四个象限中任意位置坐标值的转换，避免了计算机画图求坐标值等繁琐操作。该模块在执行程序后，机床可以在后台自动进行坐标值运算和置换输入操作，降低了操作者的劳动强度，同时大幅度降低了手动输入时的出错概率。在此过程中，需要用到一个特殊指令G10（可编程参数输入）。G10是FANUC数控系统提供给用户进行参数修改的指令，它是一个比较特殊的指令，在不同场合下有着不同的用途、不同的表述，功能非常强大。例如：在刀具寿命管理、工件坐标系和机床坐标系后台，进行刀具长度及半径补偿值修改、变量赋值与传递等。G10指令与用户宏指令相结合可以极大地简化程序，以达到事半功倍的效果，但是在实际应用中G10指令没有得到充分重视，实际生产中较少有人使用，导致其作用没能显现出来，其实在有些场合下它是不可替代的<sup>[2]</sup>。

### 2.5 固化指令（G20新指令开发）

为了后续调用程序时更方便直观，可将O9010号宏程序模块转化成系统固有指令。这里需要注意的是，FANUC操作系统要想更改系统参数中的数值，首先需要将机床参数写入开关开启。机床参数保护开关开启的步骤如下：

(1) 选择操作模式为MDI手动模式；

(2) 按下机床操作面板上的OFS/SET按键；

- (3) 按下显示屏“设定”软键；
- (4) 在参数写入选项中输入“1”后，按下 INPUT 输入键；
- (5) 返回主屏幕后会出现“可写入参数报警”，此时只需按下机床面板上的 CAN + RESET 组合按键即可消除报警。

O9010 属于 9000 号程序范围，为系统保护程序，正常情况下是隐藏起来的，需要在 3202 参数中的第四位置输入“1”之后才可以进行编辑。而 O9010 在系统中对应 6051 号参数，在系统参数界面输入 6051 后按下搜索按键找到 6051 号参数，之后在参数中写入数值 20 按确认键即可。经过以上操作后，在之后的加工中则可以直接调用新指令 G20（G20 非教科书已有指令，而是用户新开发指令）进行编程，从而可实现卧式加工中心任意点位空间坐标的跟踪，操作方便直观。

新开发指令 G20 的格式如下：

G20 A\_X\_Y\_Z ；

其中，A 为旋转角度，X 为模型图 1 中的  $X_1$ ，Y 为孔位 Y 值，Z 为模型图 1 中的  $Z_1$ 。

### 3 实际应用

油路孔在壳体设计中的出现频率较高，尤其在航空发动机壳体中，各种规格的油路孔相互贯通，在壳体的整体性能中发挥作用，然而这些油路孔在加工中存在诸多问题，导致加工效率低下。其中，采用卧式加工中心加工斜油路孔时，坐标计算效率一直得不到提高，针对这一难题，现在利用以上推导结果分两种常见情况进行实际操作演示。

第一种：根据开发出的新指令 G20，在某工件中进行实际加工。加工角度为  $8.213^\circ$ 、斜孔孔径为  $\phi 8\text{mm}$  的油路孔(图 2)时，该工件放置在第四象限(工作台左后方)，该工件的编程基准点与工作台旋转中心不重合，旋转中心设置在 G59 坐标系，工件编程零点设置在 G58 坐标系，斜孔坐标暂定为 G54 坐标系，利用 G20 坐标转换指令来进行快速编程。

第二种：利用 G20 指令加工右侧 M14×1.5 螺纹孔系，孔系与 Y 轴角度为  $90^\circ$ ，图纸坐标见图 2。

以 FANUC18i 四轴卧式加工中心为例，程序如下：  
 O0001；……………（ $\phi 8\text{mm}$  油路孔加工程序）  
 T1 M6；……………（调用 1 号刀具合金钻头  $\phi 8\text{mm}$ ）  
 G20 A8.213 X86.495 Y30 Z95.404；（坐标转换）

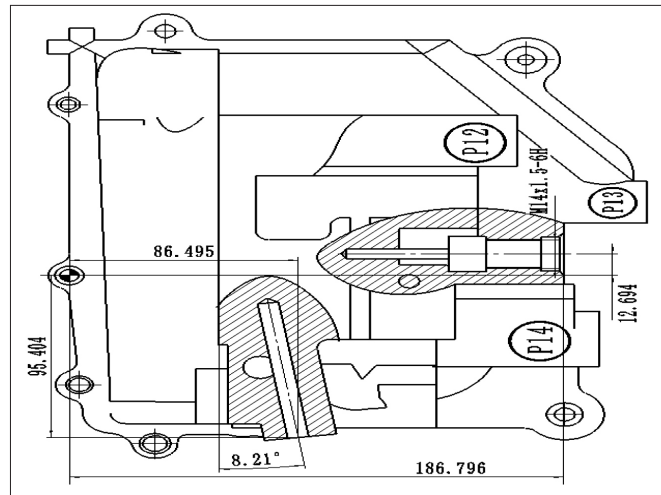


图 2 实例示意简图

```

G00 G90 G54 G17 X0 Y0 B0; ……………（转换后的新坐标自动输入到 G54 坐标系中）
G43 H1 Z300.0 S1200 M13; ……（加工环境设置）
G00 Z20.0; ……………（快速定位）
G98 G83 Z-80.0 R3.0 Q1.0 F100;……………（钻孔循环指令，孔深为 80mm，每次钻深 1mm）
G0 G80 G49 Z300.0; ……………（钻孔循环结束，取消刀长补偿，Z 轴返回安全点）
M05 M09; ……………（主轴停止，冷却液关闭）
M30; ……………（程序结束）
O0002;……………（M14×1.5 螺纹孔系加工程序）
T2 M6; ……（调用 2 号刀具合金  $\phi 10\text{mm}$  铣刀）
G20 A90 X12.694 Y40 Z186.796; …（坐标转换）
G00 G90 G54 G17 X0 Y0 B0; …（转换后的新坐标自动输入到 G54 坐标系中）
G43 H2 Z300.0 S3500 M13; …（加工环境设置）
G00 Z20.0; ……………（快速定位）
……
省略 ……………（孔系常规加工程序）
……
G0 G49 Z300.0; …（取消刀具长度补偿，Z 轴返回安全点）
M05 M09; …（主轴停止，冷却液关闭）
M30;
    
```

通过以上实例操作演示不难看出，利用新开发的 G20 坐标转化指令后，工件各方向下加工坐标获取和输入效率大幅提升，程序显得更加简洁直观，为编程人员和操作人员后期的程序检查和修改提供了友好的操作环境<sup>[3]</sup>。

## 4 结语

空间坐标转换模块在实际加工中适用性较强，尤其加入了新开发的 G20 指令后，调用编程更加直观灵活，远超子程序和普通宏指令。宏程序中涉及对系统参数的调用与计算，所以通用性大幅提高，适用于四个象限任何角度孔系坐标的计算，并且可以在机床不停机的状态下改变坐标系中的坐标值。通过实际使用对比发现，空间坐标转换模块可大幅提高斜孔坐标的计算效率，极大地减轻了编程人员和操作人员的劳动强度；同时也扩展了四轴数控机床的功能，提升了机床应用水平，丰富了用户 G 指令代码。而且，空间坐标转换模块在同类型机床中的通用率

可达 100%，对于后续机床功能的开发研究有一定的参考和指导意义。

## 参考文献：

- [1] 朱从容. 机械制造技术基础 [M]. 北京：中国电力出版社, 2013:107-109.
- [2] 倪祥明. 数控机床及数控加工技术 [M]. 北京：人民邮电出版社, 2011:37-50.
- [3] 王宝成. 数控机床与编程实用教程 [M]. 天津：天津大学出版社, 2001:86.

作者简介：李红军（1981.10-），男，汉族，陕西西安人，本科，高级技师，研究方向：机械制造。

# 广告征订



版位 Format	价格 Price (RMB)
<b>特殊版位 Specified Ads. Position</b>	
封面	25,000
封二	16,000
封三	12,000
封底	18,000
扉一	15,000
扉二	10,000
后扉一	12,000
后扉二	9,000

### 优惠说明：

在原价格基础上，连续预定3期，优惠8%；连续预定6期，优惠15%；连续预定12期，优惠20%；连续预定18期，优惠30%；连续预定36期，优惠40%。另，如提前一次性付款，可在享受优惠的基础上享受8%的额外折扣。

版位 Format	价格 Price (RMB)
<b>正常版位 Editorial Page</b>	
编辑页	10,000
编辑页跨页	15,000
1/2编辑页	5,000
1/3编辑页	3,500
1/4编辑页	2,500

注：所有特殊版位广告均为4C广告，正常版位广告均为黑白版；所有广告需提供成熟设计稿，如需编辑部制作需单独收费。

广告预定热线：010-6741 0664 / 1368 332 6370