# U 轴在复合加工中的应用

交大昆机科技股份有限公司 （云南昆明 650203） 高志强

在卧式加工中心的发展过程中，普通的 X、Y、Z 轴配合主轴已经很难满足现代加工的要求。在液压气动、工程机械、石油化工设备、汽车、机车车辆、电力设备等行业中，以桥体、差速器壳体、泵体及阀体类零件为主要加工对象，此类零件由于自身结构特点，常有 Rc2 以上的锥管螺纹加工；泵体及阀体结合端面常有弧形或异型密封槽，其密封性要求非常高；大量的直径不同的同轴孔系使得此类零件的加工在普通的卧式加工中心上难以实现，需要有 B 轴、U 轴、W 轴等轴联动实现复合加工。

为了解决此类零件的加工，机床制造商和刀具制造商都推出了具备 U 轴的解决方案。

**1. 具备 U 轴功能的刀具**

此类刀具配有 CNC 控制单元与机床伺服系统连接（有关技术协议需事先与机床制造商讨论），另配有连接轴完成驱动，用以实现 U 轴与 Z 轴联动，可以完成锥孔、R 面、车螺纹等加工。选配的探头可进行自动测量、自动加工、提高加工精度。此方法对于普通卧式加工中心临时追加 U 轴功能可以满足要求。但是，在实际使用过程中，具备 U 轴功能的刀具存在下列不足之处：

（1）刀具的伺服单元及机械结构空间有特殊要求。

（2）自身结构较单薄，不适用于强力切削。

（3）对于孔径差别大的或加工内容有区别的加工，仍需采用多把 U 轴功能的刀具，由于这是专用刀具，价格昂贵，所以很不经济。

**2. 具备 U 轴的卧式加工中心**

日本新泻铁工（NAGITA）开发生产的 BFN 系列复合加工中心带来了新的概念，其 U 轴功能不仅仅解决了上述异型件的加工问题，同时也大大减少了刀具使用数量，提高了刀具集成化。其主要特点为：

（1）U 轴单元直接安装于高刚性主轴端部，驱动单元通过主轴内部的齿轮、齿条传动实现，使得 U 轴刚性大大加强。

（2）U 轴行程为 50mm，最大镗孔直径可达 $\phi$300 mm。

（3）刀柄形式为 1/10 的短锥、端面双接触刀柄，适用于高精度强力重切削。

（4）采用独特 U 轴冷却系统，与 U 轴保持同步旋转，增强刀刃冷却效果。

（5）配有专用编程辅助软件（SNAP3），可简化、优化编程及程序调试。

（6）另配有自动探测、补偿系统作为选择功能（机内非换刀式），自动完成“粗加工→孔径自动测量→U 轴自动补偿→精加工”全过程。

NIGATA 的专用编程辅助软件（SNAP3）以宏程序的形式编制，依靠宏程序执行器调用，既提高程序调用速度又释放用户宏程序可用空间。且用户应用 SNAP3 专用编程软件编制加工程序，仅需依照加工轮廓的纵剖面，给出各拐点坐标值即可，宏程序自动安排加工工步，减少计算量及人为错误。但这种复合加工中心在机械结构及软件支持上还需进一步完善。

**3. 具备 U 轴的数控卧式镗床**

我公司推出的数控卧式镗床 TK6113、TK6111 系列产品，其具有固定平旋盘和可拆卸式平旋盘。平旋盘滑块（U 轴）为数控轴，利用 SINUMERIK 840D 数控系统强大的控制功能，可实现 X、Y、Z、B、W、U 轴任意六轴四联动，能够很容易地完成上述异型件的加工，并且 U 轴行程为 350mm，最大镗孔直径可达 $\phi$700 mm，极大地提高了加工范围。下面以 TK6113 数控卧式镗床为例，利用 SINUMERIK 840D 数控系统实现 U 轴与 Z 轴联动，完成锥孔、R 面、车螺纹等加工。

对于 TK6113 数控卧式镗床，具有六个通道轴 XX、YY、ZZ、B、U、W。机床参数设定中基本几何轴设定为：

通道轴 XX 轴 = 第 1 几何轴（X 轴）

通道轴 YY 轴 = 第 2 几何轴（Y 轴）

通道轴 ZZ 轴 = 第 3 几何轴（Z 轴）

通道轴 B 轴 = 第 4 几何轴（B 轴）

通道轴 $U$ 轴 = 第 5 几何轴（$U$ 轴）

通道轴 $W$ 轴 = 第 6 几何轴（$W$ 轴）

由于 SINUMERIK 840D 数控系统在进行插补运算时，必须指定插补平面，即在 G17、G18、G19 平面中进行插补计算，实现 $X$、$Y$、$Z$、$B$、$U$、$W$ 轴等轴联动实现复合加工。因此在使用 $U$ 轴与 $Z$ 轴联动完成复合加工之前，必须先进行几何轴转换，将 $U$ 轴转换为第 1 几何轴（$X$ 轴），在 G18 平面中进行插补运算，完成直线和圆弧插补运算，实现复合加工。

如何来进行几何轴转换呢？接下来介绍 SINUMERIK 840D 系统中的几何轴转换指令 GEOAX，其指令格式为：

```
GEOAX ( n , channel axis, n , channel axis, …)

n          ……  所需转换为的几何轴号（n = 1, 2 or 3）;
channel axis ……  即为通道轴 XX、YY、ZZ、B、U、W;
例如：指令 GEOAX ( 1 , X X , 2 , YY , 3 , ZZ )
```

该指令的结果是将通道轴 $XX$ 转换为第 1 几何轴（$X$ 轴），将通道轴 $YY$ 转换为第 2 几何轴（$Y$ 轴），通道轴 $ZZ$ 转换为第 3 几何轴（$Z$ 轴）。这就是 TK6113 数控卧式镗床机床数据设定的几何轴的基本配置。在程序中用指令 GEOAX（）调用机床数据设定的几何轴的基本配置。我们利用几何轴转换指令 GEOAX（1，$U$）将 $U$ 轴转换为第 1 几何轴（$X$ 轴）后，就可以利用 $U$ 轴与 $Z$ 轴进行插补，实现镗锥孔、车端面弧形或异型密封槽等复合加工。此外，将 $U$ 轴转换为第 1 几何轴（$X$ 轴）后，笔者创造性地将 SINUMERIK 840D 系统中的车削加工固定循环应用在数控镗床上，大大增加了 TK6113 等系列数控镗床的加工范围。

以车削锥管螺纹为例：

```
N5    M61 M62 M63;
N10   M65;
N15   GEOAX ();
N20   G54 G90 G0 U0 Z100;
N25   X0 Y0;
N30   GEOAX ( 1 , U , 3, Z );
N35   G0 G18 Z50 X30 ;
N40   G95 S25 M03;
N45   CYCLE97 (PIT, MPIT, SPL, FPL, DM1, DM2,
              APP, ROP, TDEP, FAL, IANG, NSP,
              NRC, NID, VARI, NUMT);
N50   G0 G90 X30 Z100;
N55   M5;
N60   GEOAX ();
N65   M30;
```

用此螺纹切削循环，可加工圆柱体和圆锥体上的外螺纹和内螺纹，即可加工单线螺纹和多线螺纹。读者可依此类推，应用其余车削加工固定循环。

**4. 存在的问题**

(1) 使用 $U$ 轴加工，加工精度受离心力的影响是不可避免的（即便机床具有平衡配重机构），平旋盘旋转时的离心力，受刀具重量、长度、回转速度、切削状态等因素影响而成为一个不确定量。用户需进行试切，根据试切数据，改变进刀值以达到目标尺寸。这些经验补偿值可作为自己的数据库，以备以后加工中使用。

(2) 另外，由于离心力的影响，平旋盘的回转速度被限制在 200r/min 以下，对于需要高速加工的材料来说（例如有色金属），表面粗糙度不理想。

综上所述，此类具备 $U$ 轴的卧式加工中心、数控镗床无论在异型件的加工还是提高加工效率、降低加工成本，都具有很大优势。

（收稿日期：20040620）

（上接第 23 页）

提高了效率。是我所使用的软件中最实用，最方便，最可靠，最快速的电极设计系统。

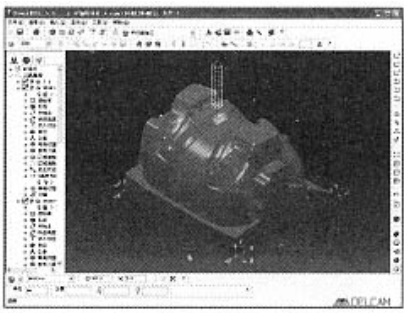

图 5

我公司的 PowerMILL 和 PowerSHAPE 刚升级到 DelCAM 公司最新发布的版本 PowerMILL5.5 和 PowerSHAPE5.6，其中增加了许多的新功能。上面所述有不太完全的地方请各位读者在使用中自己摸索。

（收稿日期：20041012）