

五轴倾斜面三点自动找平功能应用

卫晓栋, 周领燕, 周彦奇

新乡航空工业(集团)有限公司 河南新乡 453000

摘要: 研究了五轴加工中心三点找正平面的计算方法, 并针对海德汉iTNC530数控系统开发了倾斜面三点自动找平功能; 同时开展工艺应用, 利用激光探头实现在零件加工过程中自动采点、自动找正平面以及自动设置精坐标系等功能, 提高了零件加工时面找平的效率。

关键词: 五轴加工中心; 倾斜面; 三点找平; iTNC530

1 序言

在航空零件的制造和维修过程中, 有时需要将零件上某个面找平后再进行孔加工。以某壳体组件为例(见图1), 该组件要求加工 $\phi 11.02\text{mm}$ 孔, 该孔相对于 $\phi 50\text{mm}$ 外圆同轴度要求为 $\phi 0.05\text{mm}$ 。工艺文

件要求零件加工前, A面轴向圆跳动量应 $\leq 0.01\text{mm}$ 。由于存在机床误差, 工装制造误差, 零件加工误差, 以及工装、零件的定位误差等多种影响因素^[1], A面 $\leq 0.01\text{mm}$ 轴向圆跳动量的要求难以保证。利用五轴加工中心旋转轴和摆动轴的运动, 实现A面的找平, 是生产中常用的方法。

工厂有多台配备海德汉iTNC530数控系统的BC轴形式五轴加工中心, 该系统不具备倾斜面三点找平功能。使用该机床加工时, 需要手动找平零件, 效率较低。

针对配套iTNC530数控系统的五轴加工中心, 笔者研究了实现三点找平功能的数学计算方法和程序实现方法, 并探讨了程序的高效应用。

2 三点找平功能研究

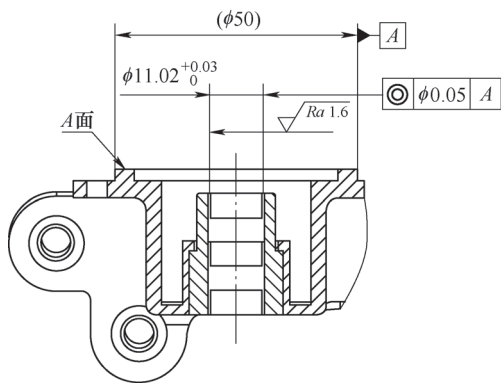
五轴倾斜面三点找平功能是指在五轴加工中心上通过采集零件倾斜面上不在同一条直线的三点坐标, 经数控系统计算, 得出机床旋转轴和摆动轴的运动角度, 并发指令使其运动, 最终实现倾斜面垂直于机床主轴的功能。

2.1 三点找平功能数学计算方法

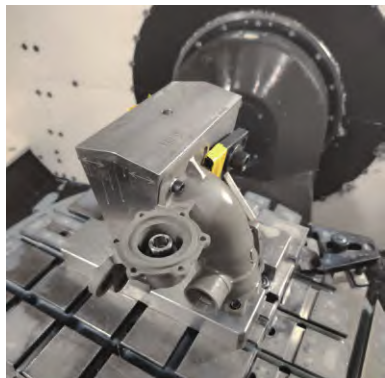
空间直角坐标系中任意不在一条直线的三点 P_1 、 P_2 、 P_3 , 可唯一确定一个平面 $P_1P_2P_3$, 如图2所示。

在五轴加工中心机床坐标系中, 两个旋转轴处于零度位置时, 倾斜面上 P_1 、 P_2 、 P_3 三点坐标为:

$$P_1 = (x_1, y_1, z_1); \quad P_2 = (x_2, y_2, z_2); \quad P_3 = (x_3,$$



a) 壳体图样



b) 壳体安装

图1 壳体

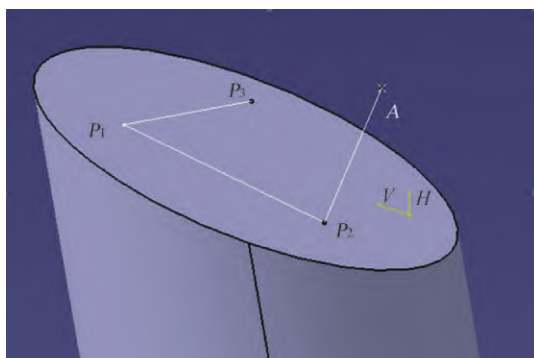


图2 三点定面示意

y_3, z_3)。平面 $P_1P_2P_3$ 的法向量为 $\mathbf{A}$, 向量 $\mathbf{A}$ 计算公式为^[2]

$$\mathbf{A} = \vec{P_1P_2} \times \vec{P_1P_3} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{bmatrix} = ai + bj + ck \quad (1)$$

式中, a 、 b 、 c 指计算出的代数算式。

向量 $\mathbf{A}$ 代表了倾斜面的方向。向量 $\mathbf{A}$ 与空间直角坐标系 X 、 Y 、 Z 轴正向之间的夹角分别为 α 、 β 、 γ , $|\mathbf{A}|$ 为向量 $\mathbf{A}$ 的模, 向量 $\mathbf{A}$ 的方向余弦 $\cos\alpha$ 、 $\cos\beta$ 、 $\cos\gamma$ 的值为

$$\cos\alpha = a/|\mathbf{A}| \quad (2)$$

$$\cos\beta = b/|\mathbf{A}| \quad (3)$$

$$\cos\gamma = c/|\mathbf{A}| \quad (4)$$

向量 $\mathbf{A}_1 = [\cos\alpha \ \cos\beta \ \cos\gamma]^T$ 表示平面 $P_1P_2P_3$ 的单位法向量在空间直角坐标系中的方向, 平面 $P_1P_2P_3$ 随着五轴加工中心两个旋转轴的运动而运动。本次研究的五轴加工中心为 BC 轴形式, 两个旋转轴分别为工作台绕 Z 轴旋转、工作台绕 Y 轴摆动。假设工作台绕 Z 轴旋转 c_1 度, 然后绕 Y 轴旋转 b_1 度, 此时平面 $P_1P_2P_3$ 与机床主轴垂直。

向量绕 Z 轴旋转的坐标系变换矩阵为

$$\mathbf{R}(Z) = \begin{bmatrix} \cos c_1 & -\sin c_1 & 0 \\ \sin c_1 & \cos c_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

向量绕 Y 轴旋转的坐标系变换矩阵为

$$\mathbf{R}(Y) = \begin{bmatrix} \cos b_1 & 0 & \sin b_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin b_1 & 0 & \cos b_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

向量 $\mathbf{A}_1$ 先绕 Z 轴旋转 c_1 度, 然后再绕 Y 轴旋转 b_1 度, 得到新的向量 $\mathbf{A}'$, 假定向量 $\mathbf{A}'$ 与 Z 轴同轴。

$$\mathbf{A}' = \mathbf{R}(Y) \times \mathbf{R}(Z) \times \mathbf{A}_1 \quad (7)$$

记向量 $\mathbf{A}' = [m_1 \ m_2 \ m_3]^T = [0 \ 0 \ 1]^T$, 通过计算可得:

$$m_1 = \cos\alpha \cos b_1 \cos c_1 - \cos\beta \cos b_1 \sin c_1 + \cos\gamma \sin b_1 \quad (8)$$

$$m_2 = \cos\alpha \sin c_1 + \cos\beta \cos c_1 \quad (9)$$

$$m_3 = -\cos\alpha \cos c_1 \sin b_1 + \cos\beta \sin b_1 \sin c_1 + \cos\gamma \cos b_1 \quad (10)$$

令 $m_1=0$, $m_2=0$, 计算可得

$$c_1 = \arctan(-\cos\beta/\cos\alpha) \quad (11)$$

$$b_1 = \arctan[(\cos\beta \sin c_1 - \cos\alpha \cos c_1)/\cos\gamma] \quad (12)$$

求出 c_1 、 b_1 后, 使五轴加工中心旋转工作台输出相应角度, 即可使平面 $P_1P_2P_3$ 运动至与机床主轴垂直的状态, 实现找平功能。

2.2 实现方法

根据上述计算方法, 编制海德汉三点找平功能宏程序。应用时先在需要找平的倾斜面上任意采集3个不在同一直线的点位的坐标, 并将点位坐标输入至坐标系寄存器中(如11、12、13坐标系), 供宏程序读取数据。然后执行宏程序, 实现找平功能。

宏程序的程序流程如图3所示。

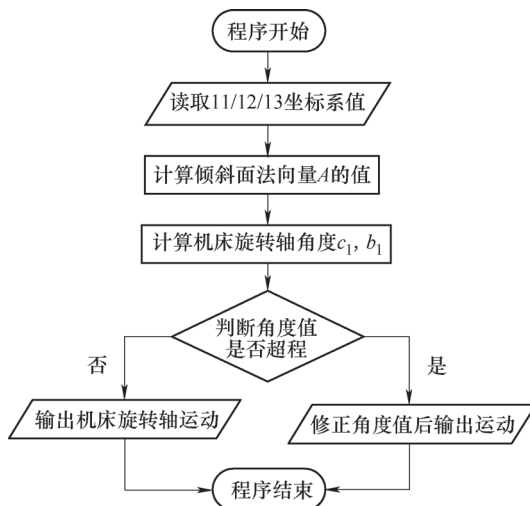


图3 三点找平宏程序流程

基于海德汉iTNC530数控系统的 BC 型五轴加工中心三点找平宏程序, 程序编制完成后在机床上进行调试、验证, 满足功能要求。

3 三点找平功能应用

三点找平宏程序, 既可手动操作应用, 又可自动运行。

手动操作时, 在需要找平的倾斜面上任意采集3个点位的坐标, 输入至坐标系(如11、12、13)

中,然后执行三点找平宏程序,即可使倾斜面运动至与机床主轴垂直位置。

自动运行需结合海德汉iTNC530数控系统激光探头测量循环、PLANE循环功能,以实现找平点位的自动探测、倾斜面找平后的零件跟踪、精坐标系的自动建立等^[3]。其步骤如下。

1) 安装零件,根据零件特征找正后设置粗坐标系1。

2) 激活粗坐标系1,编程计算倾斜面上三点的X、Y坐标值,使用激光探头、调用探测循环分别测量三点的Z坐标值,然后将三点坐标值输入至坐标系(如11、12、13)中,如图4a所示。

3) 编三点找平宏程序并执行,输出机床旋转轴运动,实现倾斜面自动找平。

4) 基于粗坐标系1及机床旋转轴的旋转角度,编程调用PLANE AXIAL循环,使用坐标跟踪功能,将激光探头移动至运动后的零件某点位置,如图4b所示。

5) 调用PLANE RESET STAY循环,取消坐标系跟踪功能,并保持机床静止不动。

6) 将当前位置设置为坐标系2。

7) 激活工件坐标系2,调用探测循环探测零件孔或面,设置精坐标系3,如图4c所示。

8) 激活精坐标系3,开始加工零件。

依据上述步骤编程,可实现零件倾斜面自动找平,经验证找平精度在0.005mm范围内。可实现零



a) 自动采点 b) 自动跟踪 c) 设置精坐标系

图4 三点找平自动运行示意

件装夹后一键操作,自动采点、找平及设置精坐标系,提高找平效率,减少人工操作,非常适合自动化生产。

4 结束语

本文针对航空零件制造过程中需要找平平面后再进行孔加工的情况,开发了适合iTNC530数控系统的BC型五轴加工中心三点找平宏程序,并研究实现了三点找平功能的自动运行,既增加了设备功能,又提高了零件加工前的找正效率,适合自动化运行,具有良好的应用效果和经济价值。

参考文献:

- [1] 冯之敬. 机械制造工程原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [2] 同济大学数学系. 高等数学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [3] 约翰内斯·海德汉博士(中国)有限公司. iTNC530 对话格式编程用户手册[Z]. 2015.

MW 20250309

欢迎关注“机工刀具世界”和“机工机床世界”微信公众号

“机工刀具世界”定位于指导制造企业一线技术员工如何合理选择和使用数控刀具,介绍数控刀具使用技巧。关注刀具行业最新技术进展,为广大制造企业推荐先进、实用数控刀具产品。

扫描二维码即可关注!



“机工机床世界”主要为广大制造企业和相关技术及操作人员介绍机床产品、机床技术、机床应用、机床使用技巧和数控机床等内容。

扫描二维码即可关注!

