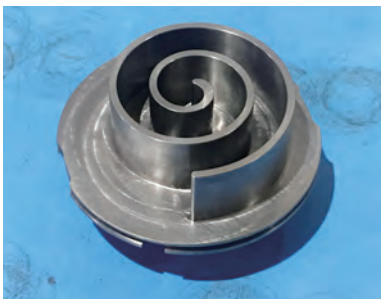


涡旋盘齿高渐变加工存在的问题及改进方案

■ 松下压缩机（大连）有限公司 （辽宁 116033） 孟姜楠 闫伟国 于 澎

摘要：分析目前涡旋齿高度渐变加工中存在的问题，提出利用FANUC系统中的圆锥插补功能加工涡旋齿高度渐变的解决方案，可实现涡旋齿高度均匀渐变，改善了涡旋齿高度逐渐增高的加工效果，编程简单。



高性能压缩机通常要求涡旋齿高度由涡旋盘中心向外逐渐增高，以补偿压缩气体温度从涡旋盘外侧至中心逐渐上升对动定涡旋体之间径向间隙产生的影响。目前通常采用分段式加工方法来达到设计要求，虽然在一定程度上符合齿高度逐渐增高的要求，但是涡旋齿高度成阶梯式增高，存在的问题。本文利用FANUC Series 16i/18i-MB系统的圆锥插补改善了涡旋齿高度逐渐增高的加工效果。

1. 目前的加工方法及存在的问题

如图1所示，动涡旋齿顶要求从P点至S点高度均匀渐变 $Z_s - Z_p$ 。在FANUC Series 16i/18i-MB

系统中，通常利用渐开线插补命令（G02.2、G03.2）加工涡旋齿。由于渐开线插补命令在X-Y平面内无法添加另一个轴（Z轴）的移动命令，因此在实际加工齿顶渐变时，是将齿顶加工的渐开线插补命令分割成若干段加工，即在渐开线上取点 P_1 、 P_2 、 $P_3 \dots P_n$ 作为编程参考点，在每段命令之间单独改变Z轴高度，以此来实现涡旋齿顶高度的渐变。

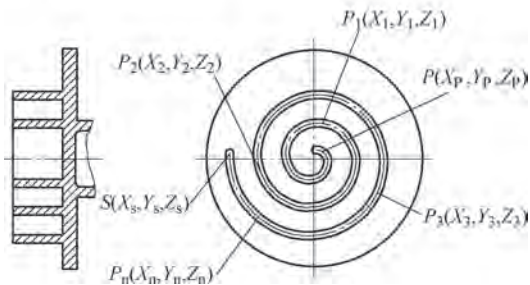


图1 涡旋齿示意图

这种加工方法虽然在一定程度上解决了齿高度渐变的问题，但是实际上齿顶的高度必然是以如图2所示的阶梯状逐渐变化，与设计要求有一定偏差，并且在程序分段时需要计算每一段的坐标值变化量，程序语句相对较多，程序编写相对复杂，程序结构如下（基圆半径 R_1 ）：

```
%
O0001
G0G90G17
G40G1X[Xp]Y[Yp]F550
G9G43G1Z[Zp]H04F1100M08
G02.2X[X1]Y[Y1]I[-Xp]J[-Yp]R[R1]F1100
G9G1Z[Z1]F110
G02.2X[X2]Y[Y2]I[-X1]J[-Y1]R[R1]F1100
```

```
G9G1Z[Z2]F110
G02.2X[X3]Y[Y3]I[-X2]J[-Y2]R[R1]F1100
...
...
...
G9G1Z[Zs]F110
G02.2 X[Xs]Y[Ys]I[-Xn]J[-Yn]R[R1]F1100
G0Z60
M55
M99
%
```

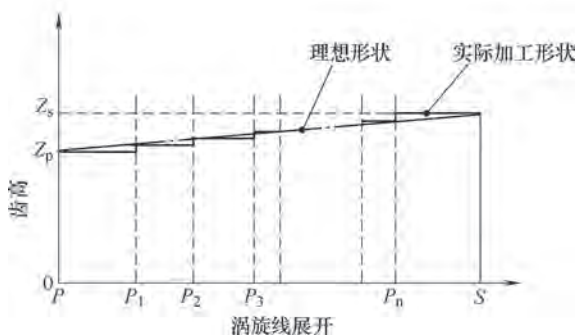


图2 齿高方向加工形状

2. 改进方案

要改善齿顶渐变形状，必须使加工连贯，加工过程中Z轴均匀变化。FANUC Series 16i/18i-MB系统中的圆锥插补是在圆弧插补的命令外，通过指定旋转次数或者每转的半径增减值来实现螺线插补，并且同时可在命令中再加上另一个轴（Z轴）的移动命令，通过指定该轴旋转一周的增减值，最终实现圆锥插补。圆锥插补的整条路径由一组规律变化的锥螺旋线组成，路径中没有进给速度和进给方向的突然转变，所以可以利用圆锥插补命令的特性，改善涡旋齿顶渐变的加工效果。

3. 可行性分析

圆锥插补的程序格式为

```
G02/G03X_Y_Z_I_J_Q_L_F_;
```

螺线插补在X-Y平面内加工路径依据以下方程计算

$$X = \left[R + \left(L + \frac{\theta}{360^\circ} \right) Q \right] \sin \theta + X_s + I$$

$$Y = \left[R + \left(L + \frac{\theta}{360^\circ} \right) Q \right] \cos \theta + Y_s + J$$

式中，X、Y、Z为终点坐标；X_s为起点X坐标；Y_s为起点Y坐标；I为从起点看的到中心的矢量（X坐标）；J为从起点看的到中心的矢量（Y坐标）；R为螺线插补开始时的半径；Q为螺线旋转一周的半径增减值；L为当前的转数-1；θ为起点和当前位置之间的夹角；Q、L在编程时可省

略其一。

当螺线圆心与渐开线基圆圆心同心时，为使螺线与渐开线起始端重合，设X_s=0、Y_s=R₁、r=R₁、Q=2πR₁、L=2、θ=270°，其路径如图3a所示，可见螺线加工路径与渐开线加工路径基本相似，其尾端点坐标S(-6πR₁, R)、S' (R₁, 0)，在X轴方向上距离差为R₁。若将r设为R₁，此时Y_s=R₁，螺线加工路径如图3b所示，此时螺线加工路径已基本与渐开线加工路径重合，令使用圆锥插补加工渐开线成为可能。

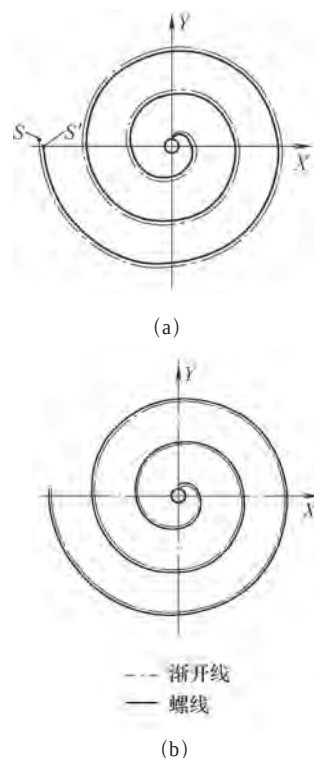


图3 螺线与渐开线对比

4. 程序编写

程序如下：

```
%
O0001
G0G90G17
G40G1X[Xp]Y[Yp]F550
G9G43G1Z[Zp]H04F1100M08
G02X[Xs]Y[Ys]I[-Xp]J[-Yp]Z[Zs]
```

L2F1100 (此处省略Q, 交由系统自动计算)

G0Z60

M55

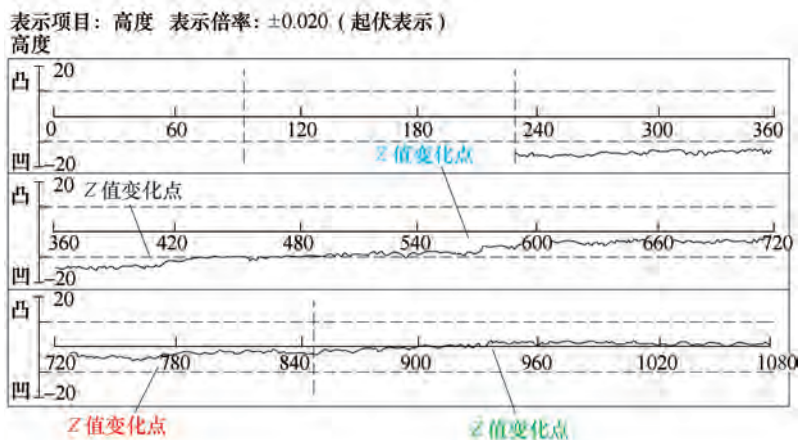
M99

%

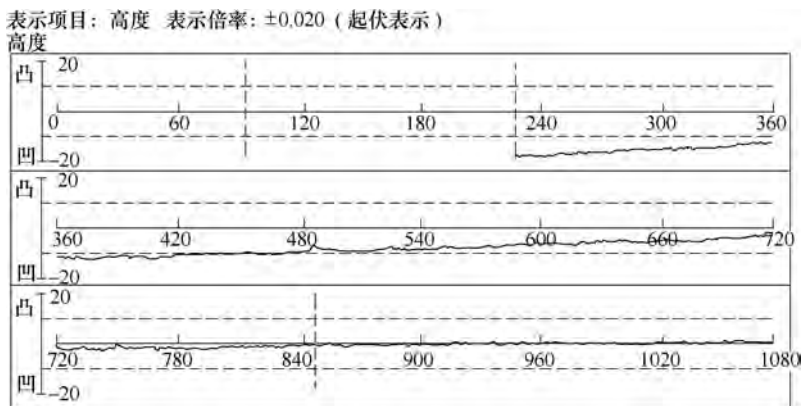
在使用圆锥插补命令后, 程序语句减少, 程序结构相对简单。

5. 加工效果验证

某涡旋盘要求齿高从涡旋线展开 230° 至 $1\ 040^\circ$ 渐变升高 $(18\pm 3)\ \mu\text{m}$, 使用轮廓度测量仪对改进前后加工的涡旋齿齿顶轮廓进行测量, 结果如图4所示。改进后的齿顶渐变趋势有明显改善, 阶梯状渐变轮廓变为平顺渐变轮廓。连续加工跟踪验证, 加工数据稳定, 渐变效果能较好地与设计要求吻合。



(a) 改进前



(b) 改进后

图4 改进前后齿高方向形状检测对比

6. 注意事项

(1) 圆锥插补中, 当同时指定 L 和 Q 时, 若 L 和 Q 存在矛盾, Q 优先。此外, L 由不带小数点的正值指定, 应注意齿顶高度渐变与渐开线展开角度的范围与 L 的关系, $L = \text{渐开线展开的转数} - 1$ 。 Q 与 L 可以省略其一。

(2) 本文并没有考虑加工所用刀具的直径 D 对齿顶渐变的影响, 事实上, 齿顶会由于刀具直径的影响而过切, 导致齿高整体偏低, 理论差值可在程序中适当补偿。通常情况下, $Z_s - Z_p$ 远小于 PS , H 很小, 可以忽略其影响。

(3) 由于圆锥插补路径与渐开线存在一定的偏差, 在使用渐开线上的坐标点编程时, 当自动计算出的位置偏差超过参数(No.3471)设定范围时, 会出现(PS5123)报警, 程序停止运行。解决方法是: ①对圆锥插补中的各项数值进行适当的圆整处理, 编程时尽量省略 Q , 交由系统自动计算。②在参数(No.3471)中设定较大的允许偏差值。即使程序中存在一定的计算误差, 也不影响运行。

7. 结语

对涡旋齿高度的加工程序进行改进, 分析圆锥插补在涡旋齿高度渐变加工中的可行性并验证了加工效果。与原方法相比, 使用圆锥插补加工齿顶高度渐变不仅可以简化加工程序, 减少编程计算量, 提高编程效率, 而且可以更好地保证齿顶渐变形状, 使齿顶渐变更接近设计要求的形状。

参考文献:

- [1] 缪道平, 吴正业. 制冷压缩机[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 侯祖刚, 魏开龙, 王泽涛. FANUC 32i圆锥插补功能的扩展与应用[J]. 金属加工(冷加工), 2015(16): 61-63.

MW (收稿日期: 20170306)