

涡旋压缩机涡旋盘数控加工研究

常家东  
(洛阳工业高等专科学校, 471003)

**摘 要** 介绍了范成法加工涡旋压缩机涡旋盘的原理、范成法加工的技术特点及其生产应用  
**关键词** 涡旋盘; 范成法; 计算机数控  
**中图分类号** TH455

0 引言

涡旋式压缩机是一种新型容积式压缩机, 因其具有体积小、零部件少、热效率高、振动小、噪音小等优点而在空调、冰箱等领域有广泛的应用前景。涡旋式压缩机的原理是法国工程师 Cruex 于 1905 年发明的, 同时在美国取得了专利<sup>[1]</sup>, 但是, 直到 70 年代为止, 它仍未得到广泛的应用, 其主要原因是缺乏精密的加工设备和制造技术来保证涡旋盘渐开线型面的加工精度。

涡旋压缩机的关键部件(动涡盘和静涡盘)如图 1, 要求有很高的形状精度和尺寸精度, 传统的机、电、液机床难以实现, 近年来随着数控技术的发展才使加工成为可能, 日本日立公司在 80 年代首先研制出适用于批量生产的涡旋压缩机精密加工设备, 目前, 这类设备在国内尚属空白。国内涡旋盘渐开线型面加工多数在加工中心上进行, 投资大而且较难保证加工精度。我们利用范成法原理, 将一台单立柱坐标镗床改造为涡盘精密加工数控设备, 满足了生产要求。

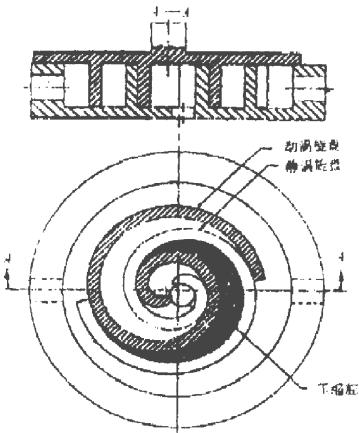


图 1 涡旋压缩机涡盘

1 范成法加工涡旋盘渐开线型面原理

由图 2 可知, 当一直线  $NN$  沿着圆周无滑动地滚动时, 直线上任一点的轨迹称为圆的渐开线。该圆称为基圆, 渐开线上任一点  $M$  的法线  $MA$  都与基圆相切。  $MA$  的长度就是渐开线在  $M$  点的曲率半径  $\rho_M$ ,  $\rho_M$  等于发生线在基圆上滚过的一段弧长。即:

$$\rho_M = MA = M_OA = r(\theta + \alpha) = r\varphi$$

(1)

式中,  $r$  为基圆半径

收稿日期: 1997-12-22  
第一作者 男 1963 年生 硕士学位 讲师

式(1)中  $\rho_M$  为渐开线上各点的曲率半径,习惯上称  $\rho_M$  为渐开线上各点的展开长度。展开长度用  $x$  表示,则:

$$x = r\varphi \quad (2)$$

式(2)是渐开线的法线极坐标方程,显然  $x$  与  $r$  或  $\varphi$  都是一次关系,法线极坐标方程最为简单。

范成法的加工原理是根据法线极坐标方程来设计数控机床的,展开长度  $x$  与展开角  $\varphi$  保持式(2)的关系,即可得到渐开线。如图3所示,在基圆的圆周上任一点安装刀具,当工件(和图中的圆盘成为一体)回转一周时,恰好工件(或刀具)沿  $x$  轴同时平移  $2\pi r$ ,将这种运动不断进行下去就得到渐开线,随着刀具的轨迹成为渐开线,刀具刃形成的包络线也是渐开线。

刀具中心轨迹渐开线和刀具刃形成包络线渐开线是同一基圆但起始角不同的渐开线,起始角相差:

$$\Delta\varphi = r_{\text{刀}} / r \quad (3)$$

改变工件的转向和移动方向,即可加工出左旋渐开线和右旋渐开线。

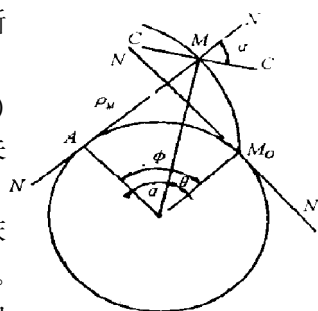


图2 渐开线的形成

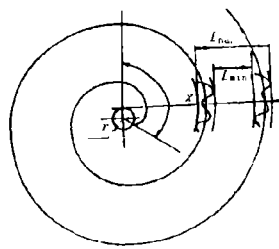
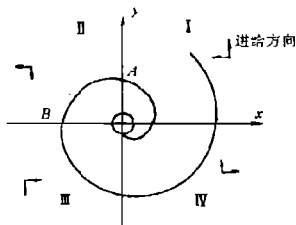
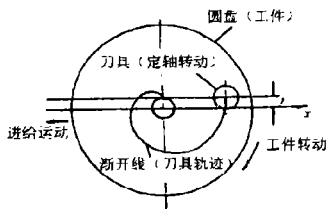


图3 范成法加工涡旋盘原理图 图4 X、Y轴失动量影响加工精度 图5 涡盘渐开线节距误差

## 2 范成法加工的技术特点

范成法加工涡旋盘渐开线型面实际上是在极坐标下加工渐开线,和直角坐标数控加工用直线或圆弧逼近渐开线相比,误差源少,因此可以达到更高的加工精度。

### 2.1 失动量不会产生型线误差

数控机床伺服机构的传动副有传动间隙,伺服机构在切削力作用下会产生弹性变形。所以数控机床的各坐标轴都存在着大小不等的反向死区。在直角坐标系下数控加工涡旋盘渐开线型面,如图4所示,在A点过象限处,由于y轴反向,则y轴失动量在A点会产生较大的型线误差。误差的大小和伺服机构的传动间隙及刚度有关。传动间隙小,伺服系统刚度好则型线误差小,反之型线误差较大。同样在B点x坐标轴反向,x轴的失动量在B点处产生型线误差,同理,在过象限各点处都会因失动量产生型线误差。这是直角坐标系下数控加工涡旋盘渐开线型面无法克服的缺点。

范成法加工涡旋盘渐开线型面数控机床x轴(移动坐标轴)失动量和C轴(回转坐标轴)失动量对型线精度没有影响。范成法加工涡旋盘渐开线型面时,一条渐开线展成过程中,移动工作台和回转工作台都不反向,所以失动量不会造成型线误差。

2.2 范成法加工无计算误差

直角坐标系下加工涡旋盘渐开线型面,用圆弧或直线逼近渐开线,会产生近似计算误差,这是由于把渐开线轮廓用许多段圆弧(或直线)组成的轮廓用许多段圆弧(或直线)组成的轮廓来代替而产生的,这样加工出的轮廓不可能准确符合理论轮廓,而是逼近渐开线轮廓。近似计算误差可以通过减小插值间隔来减小。

范成法加工是根据式(2)直接由数控系统进行渐开线插补,刀具的中心轨迹是连续的渐开线,刀具刃的包络线开成涡盘的涡壁渐开线型面。所以不会产生近似计算误差。

2.3 回转坐标轴定位误差对节距精度影响较小

涡盘的涡壁渐开线在任意展开角  $\varphi$  和  $\varphi+2\pi$  之间的节距误差为渐开线实际形状的法向距离和理论形状的法向距离之差,如图 5 所示。

$$\Delta l = l_{max} - l_{min} \tag{4}$$

将  $x = r\varphi$  代入上式得:

$$\Delta l = 2\pi\Delta r + r(\Delta\varphi_{\varphi+2\pi} - \Delta\varphi_{\varphi}) + (\Delta x_{\varphi+2\pi} - \Delta x_{\varphi}) \tag{5}$$

- $\Delta r$ ——基圆半径误差
- $\Delta\varphi$ ——0 回转坐标轴定位误差
- $\Delta x$ ——移动坐标轴定位误差

从上式可以看出,在展开角  $\varphi$  和  $\varphi+2\pi$  处, C 轴定位误差  $\Delta\varphi_{\varphi}$  和  $\Delta\varphi_{\varphi+2\pi}$  产生的节距误差为  $r(\Delta\varphi_{\varphi+2\pi} - \Delta\varphi_{\varphi})$ ,定位误差的常值部分抵消(回转工作台刚好回转一周),所以只是随机定位误差对节距精度有影响,所以单就涡盘的涡壁渐开线节距精度来看,回转坐标轴定位误差对节距精度影响较小。

3 范成法加工的生产应用

表 1 静涡盘节距误差检测数据( $\mu\text{m}$ )

零件号	1			2			3		
	外壁	内壁	内壁	外壁	内壁	内壁	内壁	外壁	外壁
0°	+5	+1	-3	+2	+1	+3	+9	+1	+1
45°	+3	+1	-2	+6	+6	+2	+4	+2	0
90°	0	-2	-3	+6	+2	+3	+9	+6	+1
135°	+2		+1	+8		+8	+4		+2
180°	+2	+1	-2	+4	0		0	+3	+8
225°	+5	+4		+1	-1	+7	+4	+7	+2
270°	+7	+2		+4	+5	+6	+2	+5	+2
315°	+3		+5		+4	+3		0	+3

在研究了范成法加工涡旋盘涡壁渐开线原理的基础上,我们开发了微机数控系统,将一台宁江机床厂生产的 TGX4145B 坐标镗床加以改装,移动工作台丝杆更换为滚珠丝杆,提高移动坐标轴的重复定位精度,配置数控回转工作台,详见文献[2]。涡旋压缩机涡旋盘的

涡壁渐开线型面的加工精度得到大幅度提高,满足了生产要求。表 1 是室温下在分辨率为  $0.001\text{ mm}$  数显装置的坐标镗床上测得的节距数据。节距误差稳定在小于  $0.01\text{ mm}$  的范围之内,达到国外同类设备的加工精度。但是加工精度还和夹具、刀具的受力变形、受热变形、振动等因素有关,特别是对刀误差产生的基圆半径误差对节距误差有较大影响。

## 4 结论

由上述分析可知,范成法加工涡旋盘渐开线型面,一是没有原理误差,二是数控机床失动量不会产生型线误差,克服了直角坐标法加工时两个无法克服的缺点,而且回转坐标轴定位误差对节距精度影响较小,这种加工方法更易达到较高的加工精度,是涡旋盘渐开线型面加工专用数控设备的发展方向。

## 参考文献

- 1 邓定国,束鹏程. 回转压缩机. 北京:机械工业出版社. 1988.4~5
- 2 常家东. 渐开线型面数控加工及误差分析与研究. 西安交通大学硕士学位论文. 1995.15~23

## Research on the Numerical Control Machining Scroll Compressor Scroll-plate

Chang Jiadong  
(Luoyang College of Industry)

**Abstract** This paper discusses the principle of generating machining scroll compressor scroll-plate, technical features and application in production of the technique.

**Keywords** scroll-plate; generation; computer numerical control