

# 变截面涡旋齿组合型线的径向铣削厚度分析\*

孙永吉<sup>①②</sup> 刘涛<sup>①</sup> 唐林虎<sup>②</sup> 王栋梁<sup>②</sup> 张红梅<sup>②</sup> 李珊珊<sup>③</sup> 邹雪娟<sup>④</sup>

(①兰州理工大学机电工程学院,甘肃兰州730050;②兰州工业学院,甘肃兰州730050;

③兰州职业技术学院,甘肃兰州730070;④中石油兰州石化分公司,甘肃兰州730060)

**摘要:** 变截面涡旋齿是新型涡旋压缩机的核心部件,其加工精度决定了压缩机的工作性能。该涡旋齿型线由曲率时刻变化的复杂曲线组合而成,齿型线轮廓度、表面粗糙度等加工精度要求很高。在涡旋齿铣削加工中,给定的径向铣削厚度随型线的曲率变化而变化,若参数选择不好,会使铣削状态恶化,加剧刀具磨损,影响加工精度和效率。文章以三段基圆渐开线组合齿型线为研究对象,分析涡旋齿型线的曲率半径并对型线的刀位轨迹进行处理,建立铣削涡旋齿型线壁面的径向铣削厚度模型。揭示了径向铣削厚度随刀位轨迹的变化规律,为建立变截面涡旋齿型线铣削力模型奠定了理论基础,为控制涡旋齿加工变形,提高加工精度提供了有效途径。

**关键词:** 变截面涡旋齿;曲率半径;刀位轨迹;径向铣削厚度

**中图分类号:** TH161; TH164 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.19287/j.cnki.1005-2402.2018.11.026

## Modeling analysis on radial milling thickness in milling profiles of variable cross-section scroll tooth

SUN Yongji<sup>①②</sup>, LIU Tao<sup>①</sup>, TANG Linhu<sup>②</sup>, WANG Dongliang<sup>②</sup>, ZHANG Hongmei<sup>②</sup>, LI Shanshan<sup>③</sup>, ZOU Xuejuan<sup>④</sup>

(①Department of Mechanic and Electronic Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, CHN;

②Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou 730050, CHN; ③Lanzhou Vocational Technical College, Lanzhou

730070, CHN; ④Lanzhou Petrochemical Company, Lanzhou 730060, CHN)

**Abstract:** The milling accuracy of variable cross-section scroll which is the core component of new scroll compressor reflects its working performance. This scroll profile consisting of complex curves with variation curvature requires very high machining accuracy such as profile tolerance and surface roughness. During the milling process, the radial milling thickness varying with the curvature of scroll profile will cause the deterioration of milling state, aggravate tool wear and influence processing precision and efficiency directly. In this paper, scroll profile formed by combination of three segment base circle involute is analyzed, tool path of scroll profile is calculated and the radial milling thickness model for milling scroll profile is established. The results of this study show that the variation of radial milling thickness with tool path is revealed, which definitely make stable theoretical foundation for building milling force model of variable cross-section scroll profile, control the milling deformation and improve the machining efficiency.

**Keywords:** variable cross-section scroll tooth; radius of curvature; tool path; radial milling thickness

近20年来,涡旋压缩机的研究开发成为压缩机技术发展的热点之一,而变截面涡旋压缩机<sup>[1]</sup>由于采用很少的圈数就实现了高压比,具有体积小、结构紧凑、重量轻、振动小、噪音低、运行平稳、效率高等显著特点,满足了现代工业节能环保经济的需要,代表了涡旋压缩机发展的新趋势。目前已在制冷、汽车、电力电子、轻工、化工、医疗器械、制药、酿酒、食品等领域得到

广泛应用<sup>[2-3]</sup>。

涡旋压缩机技术最初是由法国工程师 Cruex 提出,于1905年获得专利<sup>[4]</sup>。其后,由于没有数控加工技术,因而长期未能转向实际生产。直到20世纪70年代,能源危机和数控加工技术的出现给涡旋机械的发展带来了机遇<sup>[5]</sup>。20世纪80年代始,日本、美国相继批量生产涡旋压缩机,到目前仍占据主要市场。国

\* 国家自然科学基金(51665035);甘肃省高等学校科研项目(2016B-112);甘肃省陇原青年创新人才扶持计划



内直到 80 年代末,大连理工大学、西安交通大学、合肥通用机械研究所及兰州理工大学等几家单位相继开展研究。研究主要集中在压缩机的几何特性、工作原理、泄漏及密封、型线修正、通用型线、整体优化等理论方面<sup>[6]</sup>,而对加工制造方面研究较少。因此,研究变截面涡旋齿的加工工艺是提高涡旋压缩机生产率的重要任务<sup>[7-8]</sup>。

变截面涡旋齿是涡旋压缩机的核心部件,其加工精度高低决定了涡旋压缩机的工作性能。压缩机的工作特性要求相互啮合的变截面涡旋齿必须具有非常高的精度指标<sup>[9]</sup>。涡旋齿属于深槽薄壁类零件,受涡旋齿节距和壁厚影响,被加工部位宽度和深度比在 1:3~1:4 此情况下,刀具直径小且伸出长度大,若铣削参数选择不当,会导致加工状态不稳,产生振动,加剧刀具磨损,影响涡旋齿型线轮廓度和表面粗糙度。

本文以三段基圆渐开线组合成的变截面涡旋齿为研究试验对象,采用立铣刀侧铣方式,基于涡旋齿型线曲率半径时变性特征,采用双圆弧逼近处理刀位轨迹,建立随刀位轨迹变化的刀具径向铣削厚度模型,揭示铣削厚度变化规律,改进铣削加工工艺参数,提高加工精度。

## 1 型线及加工要求

### 1.1 涡旋齿型线

变截面涡旋齿的型线是在满足两曲面共轭接触基本条件<sup>[10]</sup>的基础上建立起来的,它由多条解析曲线连接构成,是一种组合型渐开线。这种混合型渐开线可使涡旋压缩机在压缩比不变的情况下,涡卷圈数减少、涡旋齿尺寸减少、泄漏量减少、整机温度降低、工作效率有效提升。

本文的变截面涡旋齿型线采用三段基圆渐开线组合而成,采用法向等距线法生成涡旋齿内壁型线 ACEHI 和外壁型线 ABDFG,如图 1 所示。

第一段基圆内壁型线 CE:

$$\begin{aligned} x &= 2.761 \cos(t) + (6.665 + 2.761t) \sin(t) \\ y &= 2.761 \sin(t) - (6.665 + 2.761t) \cos(t) \end{aligned} \quad (t \in [0, 2\pi]) \quad (1)$$

第二段基圆内壁型线 EH:

$$\begin{aligned} x &= 4.3535 \cos(t) + (-3.34097 + 4.3535t) \sin(t) - 1.5925 \\ y &= 4.3535 \sin(t) + (3.34097 - 4.3535t) \cos(t) \end{aligned} \quad (t \in [2\pi, 4\pi]) \quad (2)$$

第三段基圆内壁型线 HI:

$$\begin{aligned} x &= 2.761 \cos(t) + (16.671 + 2.761t) \sin(t) \\ y &= 2.761 \sin(t) - (16.671 + 2.761t) \cos(t) \end{aligned}$$

$$(t \in [4\pi, 5\pi]) \quad (3)$$

第一段基圆外壁型线 BD:

$$\begin{aligned} x &= -2.761 \cos(t) - (1.995 + 2.761t) \sin(t) \\ y &= -2.761 \sin(t) + (1.995 + 2.761t) \cos(t) \end{aligned} \quad (t \in [0, 2\pi]) \quad (4)$$

第二段基圆外壁型线 DF:

$$\begin{aligned} x &= 4.3535 \cos(t) + (-8.01097 + 4.3535t) \sin(t) + 1.5925 \\ y &= 4.3535 \sin(t) + (8.01097 - 4.3535t) \cos(t) \end{aligned} \quad (t \in [2\pi, 4\pi]) \quad (5)$$

第三段基圆外壁型线 FG:

$$\begin{aligned} x &= -2.761 \cos(t) - (12.001 + 2.761t) \sin(t) \\ y &= -2.761 \sin(t) + (12.001 + 2.761t) \cos(t) \end{aligned} \quad (t \in [4\pi, 6\pi]) \quad (6)$$

其中:  $t$  为涡旋型线展角, CA 为修正大圆弧, BA 为修正小圆弧。

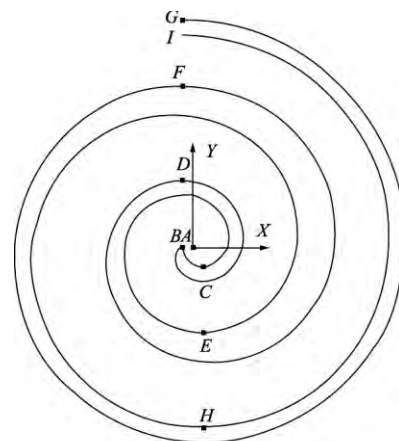


图1 变截面涡旋齿型线

### 1.2 加工要求

涡旋压缩机的两个涡旋齿同一时间在径向多点啮合,若加工齿型线轮廓度误差越大,压缩气体的泄漏量越大,工作稳定性会变差,涡旋齿的磨损会加大,工作效率会急剧下降。在数控铣床进行铣削过程中,由于型线曲率的时变性特征会导致径向铣削厚度不均匀,铣削力不稳定,易产生很大的加工误差。涡旋压缩机的工作特性要求其制造精度<sup>[9]</sup>非常高,如表 1 所示。动、静涡旋齿是压缩机的核心部件,也是铣削加工的难点。

## 2 型线的分析及处理

### 2.1 涡旋齿型线的曲率半径

根据微分几何学可知,涡旋压缩机的涡旋齿型线必须是连续光滑的,其参数方程具有二阶导数。动涡旋齿绕着静涡旋齿作公转运动时,啮合点沿着涡旋齿

型线连续移动 型线啮合点处切线方向为动、静涡旋齿相对运动方向。涡旋齿型线的曲率在不断变化,对应其曲率半径也在不断变化。在微分几何学中,根据弧微分公式可得出涡旋齿型线参数方程的曲率半径计算公式:

表1 涡旋齿的加工精度要求

序号	项目	精度/ $\mu\text{m}$
1	涡旋齿型线的线轮廓度	10
2	涡旋齿素线的直线度	5
3	涡旋齿壁面的垂直度	1
4	涡旋齿高度公差	10
5	涡旋齿齿顶面的平面度	5
6	涡旋齿齿槽底面的平面度	5
7	涡旋齿齿顶与背面的平行度	5
8	涡旋齿壁厚尺寸公差	5
9	涡旋齿表面粗糙度 $R_a$	0.8

$$\rho = \frac{[\phi'(t)^2 + \psi'(t)^2]^{\frac{3}{2}}}{|\phi'(t)\psi''(t) - \phi''(t)\psi'(t)|} \quad (7)$$

式中:  $\begin{cases} x = \phi(t) \\ y = \psi(t) \end{cases}$

$\rho$  为涡旋齿型线的曲率半径;  $t$  为涡旋齿型线的展角。

由式(7)计算出变截面涡旋齿内壁和外壁组合型线的曲率半径  $\rho$  随展角  $t$  的变化情况如图2所示。

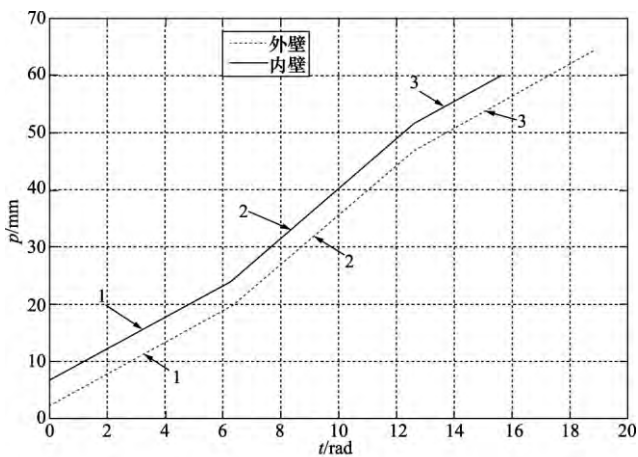


图2 涡旋齿型线曲率半径

图2中,实线1、2、3指示的是第一、二、三段基圆渐开线组合成的内壁型线,虚线1、2、3指示的是第一、二、三段基圆渐开线组合成的外壁型线,展示了内壁和外壁组合型线的曲率半径随展角的变化情况。可以看出,内外壁1段、2段、3段相应型线的曲率半径变化一致,在同一圈组合型线中,由于1段和3段采用相同的

基圆渐开型线,故曲率半径变化趋势是一致的,但内外壁2段型线曲率半径随展角变化较快。

## 2.2 型线的刀位轨迹

涡旋型线的加工方法目前采用展成法和数值逼近法两种<sup>[5]</sup>。展成法主要加工的是由基圆渐开线形成的等截面涡旋齿,一般用C轴联动的加工中心进行铣削加工,工件随工作台匀速旋转,工作台沿Y轴方向偏置R的距离,工作台沿X轴正方向作匀速直线进给运动,同时C轴顺时针方向旋转。根据圆渐开线的几何特性,C轴旋转 $360^\circ$ ,X轴应移动 $2\pi R$ 。

变截面涡旋齿型线是由不同基圆渐开线组合成的复杂曲线,只能采用数值逼近法。通过把组合型线离散化成一系列坐标点,根据型线走向,使得这一系列点通过拟合成为新的加工曲线,在数控铣床或加工中心上进行顺铣加工,加工路线如图3所示。

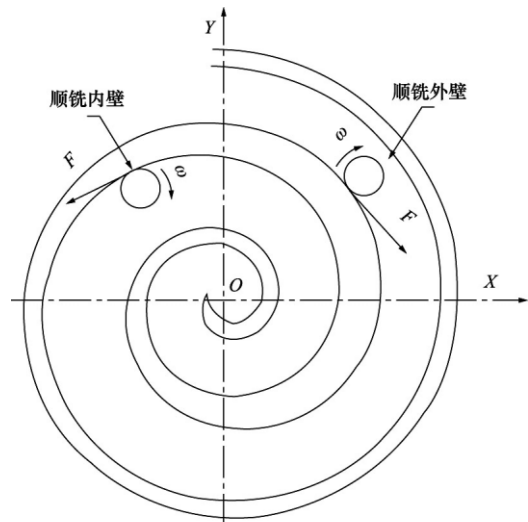


图3 涡旋齿型线加工路线

目前,几乎所有CAM软件对非圆曲线轮廓的刀位轨迹处理采用直线段和单圆弧段逼近实现。刀具在每个直线插补段都要经历加速、匀速、减速和停顿,使加工时间延长且产生过多的振动与磨损;单圆弧逼近连续性好,但不能处理有拐点的情况,且稳定性和灵活性差;双圆弧逼近是在型值点及中间交点处,两相邻圆弧有共同的切线,一阶导数连续,二阶导数存在,其拟合轨迹连续,不出现尖点过渡、不改变原曲线的凹凸性,也不产生波动,拟合曲线的曲率中心轨迹走向好,能提高加工精度和加工效率。

本文采用双圆弧逼近法对涡旋齿组合型线进行处理,将处理后的组合型线沿法向等距偏移一个刀具半径,即为刀位轨迹,分别得到顺铣内壁和外壁型线的曲率半径随刀位点数的变化情况如图4所示。

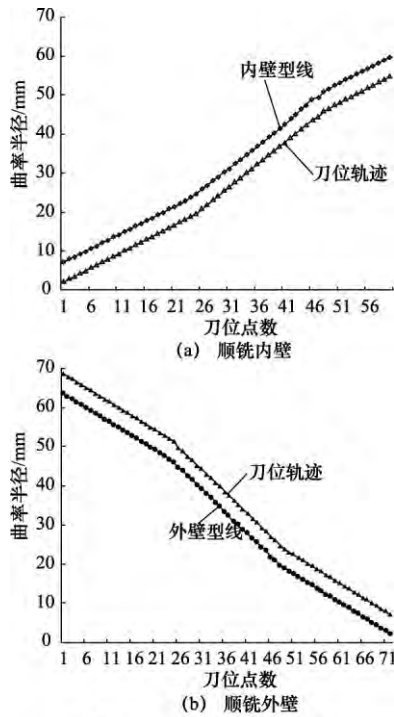


图4 刀位轨迹曲率半径变化

计算的顺铣外壁第二段涡旋齿型线的刀位点数与其曲率半径数据如表 2 所示。

表 2 外壁第 2 段型线的刀位点数与曲率半径

刀位点数 $N$	曲率半径 $\rho/\text{mm}$	刀位点数 $N$	曲率半径 $\rho/\text{mm}$
25	46.322	37	32.648
26	44.804	38	31.130
27	44.043	39	30.370
28	42.525	40	28.851
29	41.764	41	28.091
30	40.246	42	26.573
31	39.485	43	25.812
32	37.967	44	24.294
33	37.206	45	23.534
34	35.688	46	22.016
35	34.927	47	21.256
36	33.409	48	19.738

对表 2 数据进行拟合, 设最小二乘二次拟合多项式为:

$$\rho(N) = a_0 + a_1 N + a_2 N^2 \quad (8)$$

使得:

$$\sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n [\rho_i - \rho(N_i)]^2 = G(a_0, a_1, a_2) \quad (9)$$

为最小, 即选取合适的参数  $a_i (i=0, 1, 2)$ : 使得:

$$G(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=1}^n [\rho_i - \rho(N_i)]^2 = \min_{\psi \in H} \sum_{i=1}^n [\rho_i - \psi(N_i)]^2 \quad (10)$$

由多元函数取极值的必要条件, 得方程组:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n N_i + a_2 \sum_{i=1}^n N_i^2 = \sum_{i=1}^n \rho_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n N_i + a_1 \sum_{i=1}^n N_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n N_i^3 = \sum_{i=1}^n \rho_i N_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n N_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n N_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n N_i^4 = \sum_{i=1}^n \rho_i N_i^2 \end{cases} \quad (11)$$

将表 2 数据代入式 (11) 可求解得  $a_0, a_1, a_2$  值, 即可得到顺铣外壁第 2 段涡旋齿型线曲率半径拟合函数为:

$$\rho'_{n2}(N) = a_0 + a_1 N + a_2 N^2 \quad (12)$$

采用同样方法, 可得到顺铣内壁第二段涡旋齿型线曲率半径拟合函数为:

$$\rho'_{n2}(N) = a_3 + a_4 N + a_5 N^2 \quad (13)$$

上面式 (8) ~ (13) 中:  $\rho'$  为拟合得到的曲率半径函数;  $\delta$  为曲率残差;  $H$  为二次多项式集合。

### 3 径向铣削厚度建模

在铣削变截面涡旋齿型线轮廓中, 径向铣削厚度是垂直于刀具走刀方向和刀具轴线度量的切削层尺寸。假设立铣刀为刚体, 对曲率半径不断变化的涡旋齿型线进行铣削加工。与逆铣相比, 顺铣主铣削力小、刀具磨损小、加工稳定、被加工工件表面质量好, 故采用立铣刀顺铣涡旋齿型线的内壁和外壁, 建立铣削变截面涡旋齿型线外壁和内壁的径向铣削厚度模型如图 5 所示。

根据图 5 所示,  $O$  为不同曲率半径对应的曲率中心,  $O_1$  为刀具几何中心,  $B$  为刀具与铣削后涡旋型线的切点,  $A$  为刀具切削刃与铣削前涡旋型线的交点。通过各三角形关系的推导, 计算得到实际径向铣削厚度如下:

$$\text{顺铣外壁: } h_w = \frac{E(2\rho - E)}{(D + 2\rho - 2E)} \quad (14)$$

$$\text{顺铣内壁: } h_n = \frac{E(2\rho - E)}{(2\rho - D)} \quad (15)$$

式中:  $h_w$  为外壁径向铣削厚度;  $h_n$  为内壁径向铣削厚度;  $E$  为理论切削余量;  $\rho$  为曲率半径;  $D$  为刀具直径。

将式 (12)、(13) 代入式 (14)、(15) 得瞬时径向铣削厚度:

$$\text{顺铣外壁: } h_w = \frac{E(2\rho_{n2}(N) - E)}{(D + 2\rho_{n2}(N) - 2E)} \quad (16)$$

$$\text{顺铣内壁: } h_n = \frac{E(2\rho_{n2}(N) - E)}{(2\rho_{n2}(N) - D)} \quad (17)$$

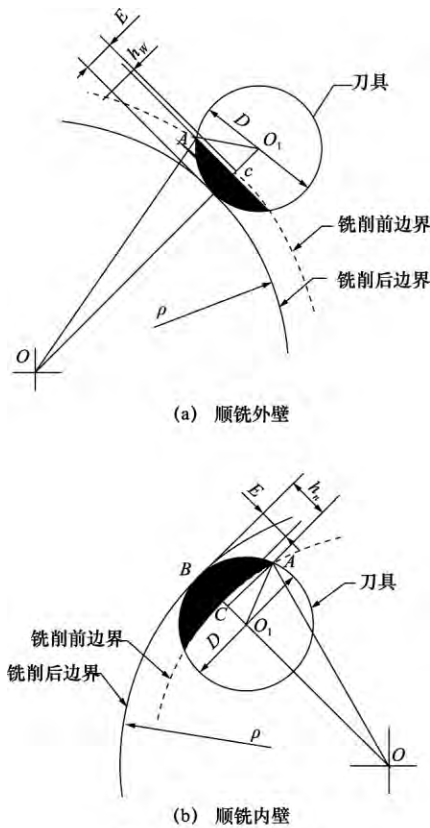


图5 径向铣削厚度模型

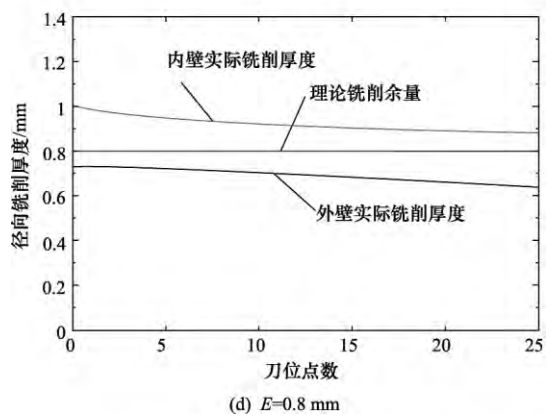
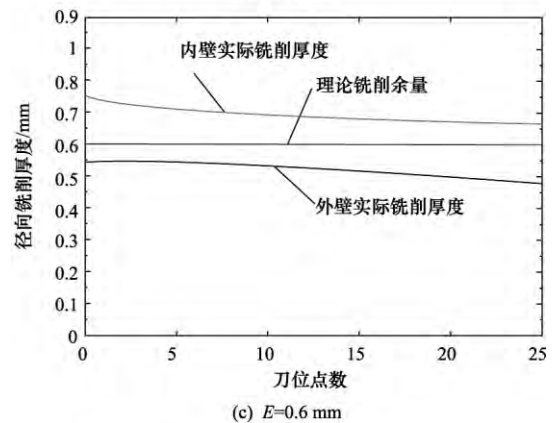
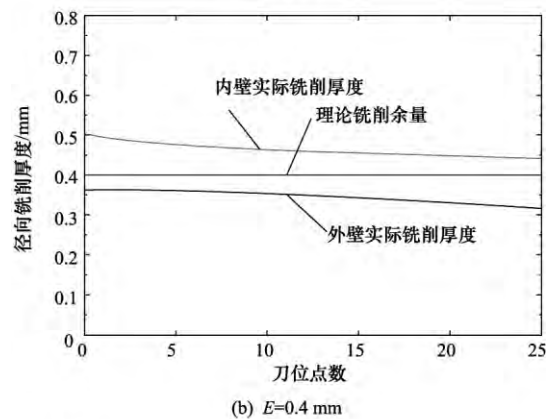
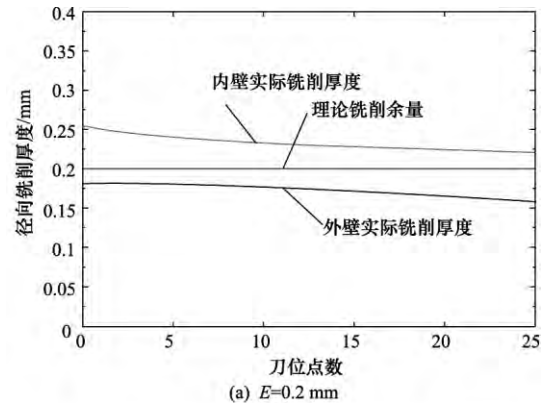
#### 4 径向铣削厚度分析

取不同理论铣削余量  $E = 0.2、0.4、0.6、0.8、1 \text{ mm}$  根据变截面涡旋齿型线径向铣削厚度模型,通过编程得出顺铣涡旋齿型线外壁和内壁的实际径向铣削厚度随型线刀位点数的变化情况,如图6所示。

从图6中可以看出:顺铣齿型线外壁时,立铣刀实际径向铣削厚度始终小于设定铣削余量(理论铣削厚度),差值最小为  $0.02 \text{ mm}$ ,最大为  $0.2 \text{ mm}$ ;沿着顺铣齿型线外壁的刀具路径,随刀位点数不断增加(齿型线曲率半径逐渐变小),实际径向铣削厚度呈非线性逐渐减小,减小值最小为  $0.02 \text{ mm}$ ,最大为  $0.1 \text{ mm}$ 。

顺铣齿型线内壁时,立铣刀实际径向铣削厚度始终大于设定的铣削余量(理论铣削厚度),差值最小为  $0.02 \text{ mm}$ ,最大为  $0.24 \text{ mm}$ ;沿着顺铣型线内壁的刀具路径,随刀位点数不断增加(齿型线曲率半径逐渐变大)实际径向铣削厚度呈非线性逐渐减小,减小值最小为  $0.03 \text{ mm}$ ,最大为  $0.15 \text{ mm}$ 。

不论铣削内壁还是外壁,实际径向铣削厚度与理论铣削厚度的差值都随设定铣削余量的增大而增大,



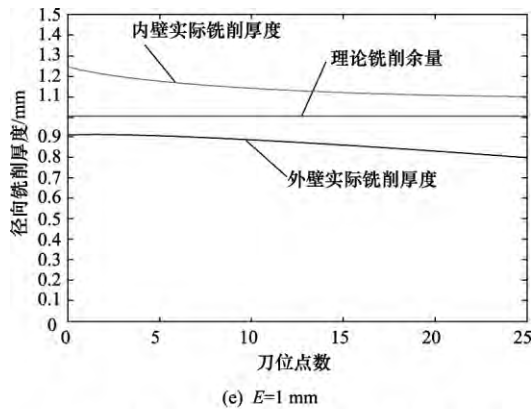
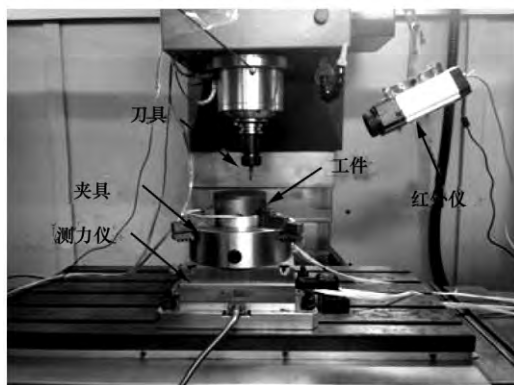


图6 顺铣涡旋齿型线内外壁实际径向铣削厚度

也就是说,如果给定的铣削余量越大,加工出齿型线轮廓度误差越大。因此在企业实际生产中,尤其在精加工阶段,应采用较小的径向铣削厚度,以减小加工误差,保证涡旋齿型线轮廓度和加工精度。



(a) 铣削试验测试现场



(b) 铣削试验部分放大图

图7 铣削变截面涡旋齿型线试验测试

## 5 铣削试验

铣削试验机床采用 XK713 数控铣床,数控系统为 FANUC Oi-MC,额定功率为 7.5 kW,最大扭矩为 35.8 N·m;工件材料是涡旋盘常用材料灰口铸铁 HT250,尺寸为  $\phi 140 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ ;刀具选用二刃整体涂层硬质

合金键槽刀,刀具直径  $D=10 \text{ mm}$ ,刀具总长为 75 mm,悬伸长为 35 mm,螺旋角为  $30^\circ$ ;铣削方式为顺铣。采用瑞士 Kistler 三向动态测力仪和动态信号测试分析仪 DH-5922N 和红外热像仪 DM63 采集试验数据。现场试验如图 7 所示。

通过试验验证,加工出的零件如图 8 所示。经过测试,只有径向铣削余量  $E$  取值  $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$  时,涡旋齿型线轮廓度才能进入  $0.01 \text{ mm}$  内,表面粗糙度达到要求,涡旋齿的加工精度得到有效提升。



图8 变截面涡旋齿

## 6 结语

针对涡旋齿型线具有复杂、齿槽窄、齿高厚比值大、易变形等加工难点,从铣削工艺参数角度考虑,分析齿型线的曲率半径时变性特征,通过双圆弧逼近对铣削刀具轨迹进行处理,建立了径向铣削厚度模型,揭示了径向铣削厚度随铣削刀位轨迹曲率半径的变化呈非线性减小。并进行了铣削试验。结果表明采用合理的径向铣削厚度,有助于提高零件的加工精度,使切削状态更加稳定,为变截面涡旋齿铣削生产加工提供参考。

### 参考文献

- [1] 赵远扬,李连生,熊春杰,等. 涡旋压缩机研究概述[J]. 流体机械, 2002, 30(9): 28-31.
- [2] (日) 森下悦生,杉原正浩. 涡旋压缩机的设计问题[J]. 压缩机技术, 1988, 16(4): 11-12.
- [3] 姜尔宁. 世界制冷压缩机发展趋势[J]. 制冷技术, 2009, 29(2): 40-45.
- [4] Kazuya Kato, Yoshimi Takeuchi, Yukio Maeda, et al. High-precision and high-efficiency machining of scroll compressor components [J]. Int J Adv Manuf Technol, 2005, 27: 260-267.
- [5] Winandy E, Claudio S O, Lebrun J. Experimental analysis and simplified modeling of a hermetic scroll refrigeration compressor [J]. Applied Thermal Engineering, 2002, 22(2): 107-120.
- [6] 周英涛, 张晓丹, 刘忠赏. 涡旋压缩机技术发展趋势 [J]. 制冷与空调, 2017(7): 69-72.

# 基于影像仪的标准件批量检测技术应用研究\*

李海澄<sup>①②</sup> 宗伟<sup>①②</sup> 汪文波<sup>①②</sup> 史艺广<sup>①②</sup> 徐学仓<sup>①②</sup> 姚浩然<sup>①②</sup>

(①国营芜湖机械厂,安徽 芜湖 241007;②安徽省航空设备测控与逆向工程实验室,安徽 芜湖 241007)

**摘要:** 针对航修企业入厂检验现场仍采用游标卡尺、百分表、千分尺等传统人工抽检方式复验标准件,而使零件合格率和生产效率难以保证的现象,介绍了一种基于影像仪的标准件批量检测技术方案。在分析螺栓类标准件结构特点及测量特征量的基础上,设计了批量装夹定位夹具及检测程序,实现了螺栓类标准件主要尺寸自动化批量测量。

**关键词:** 标准件;影像仪;批量检测

中图分类号:TP29 文献标识码:B

DOI:10.19287/j.cnki.1005-2402.2018.11.027

## Research on application of batch detection technology of standard parts based on imager

LI Haicheng<sup>①②</sup>, ZONG Wei<sup>①②</sup>, WANG Wenbo<sup>①②</sup>, SHI Yiguang<sup>①②</sup>, XU Xuecang<sup>①②</sup>, YAO Haoran<sup>①②</sup>

(①Wuhu State-owned Machinery Factory, Wuhu 241007, CHN; ②Anhui Province Aviation Equipment Testing and Control and Reverse Engineering Laboratory, Wuhu 241007, CHN)

**Abstract:** For the aviation repair enterprise incoming inspection of the scene is still use the traditional manual sampling methods such as vernier calipers, dial gauges, and micrometers to retest the standard parts, which makes it difficult to guarantee the qualification rate and production efficiency of the parts, this paper introduces a standard component batch detection technology scheme based on imager. Based on the analysis of structural features of bolts and standard measurement features, a series of fixtures and testing procedures were designed to realize automatic batch measurement of the main dimensions of bolts.

**Keywords:** standard parts; imager; batch measurement

航空飞机修理企业外购标准件种类繁多,规格及数量众多,质量(几何尺寸及形位公差)要求严格。标准件入厂检验现场仍采用游标卡尺、百分表、千分尺等传统人工抽检方式,测量要素少,检测时间长、效率低,检验易视力疲劳,不利于零件入库快速流水,且易出现人为差错,存在着一定的质量安全风险。

基于光学影像仪实现批量零件多要素自动化检测

技术在外部企业中已经大量使用。如江苏省计量科学研究院研制的影像测量仪试验筛自动测量系统,实现所有筛孔全自动搜索扫描及自动化检测<sup>[1]</sup>;合肥工业大学设计的直齿圆柱渐开线齿轮影像测量图像处理技术,广泛地应用于齿轮几何参数动态实时精密测量<sup>[2]</sup>。然而在航空飞机修理企业,由于行业自身特点及特殊性,还没有应用光学影像仪检测技术方案解决

[7] Li H Z, Liu K, Li X P. A new method for determining the undeformed chip thickness in milling [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 113: 378-384.

[8] Rao V S, Rao P V M. Modeling of tooth trajectory and process geometry in peripheral milling of curved surfaces [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2005, 45: 617-630.

[9] 谢利昌. 涡旋压缩机大批量生产的几个关键技术问题[J]. 制造技术与机床, 2000(5): 32-35.

[10] 李连生. 涡旋压缩机[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.

第一作者:孙永吉,男,1979年生,博士,副教授,主要从事数控加工研究,已发表论文20余篇,获得甘肃省技术能手,甘肃省青年教师成才奖,兰州市“金蓝领”高技能人才等荣誉。

(编辑 李静)

(收稿日期:2018-03-20)

文章编号:181137

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

\* 空军修理科研项目(87-制-17-96)