

文章编号: 1000-5889(2005)05-0057-04

涡旋压缩机型线始端的设计及加工

王君, 高艳, 赵嫚, 刘振全

(兰州理工大学 石油化工学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对动静涡旋齿始端由于设计或加工的不当而在工作中出现的齿碰现象, 通过动涡旋齿的运动分析, 对涡旋齿始端的齿碰现象进行了详细的讨论, 确定了最终啮合点的齿碰区域, 提出了既可以避免齿碰, 又不减少涡旋齿啮合的型线始端设计和加工方法。

关键词: 涡旋压缩机; 齿碰现象; 型线设计; 型线加工

中图分类号: TH 455 **文献标识码:** A

Profile design and processing of initial end of wraps in scroll compressor

WANG Jun, GAO Yan, ZHAO Man, LIU Zhenquan

(College of Petrochemical Technology, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Aimed at the phenomenon of interference between the orbiting wrap and fixed one at their initial ends due to improper profile design or manufacture of the wraps, kinematic analysis was conducted for the wraps to discuss this phenomenon of interference in detail. The interference area of last wrap meshing point was determined. Wrap profile design and manufacture methods were presented, with which not only the wrap interference can be avoided but also the meshing of wrap will be maintained.

Key words: scroll compressor; wrap interference phenomenon; profile design; profile processing

涡旋型线的设计和加工是涡旋压缩机研发中的关键部分。在未修正型线的始端设计中, 通常采用直接截断型线或用加工刀具干涉圆弧作为型线的方法^[1], 然而, 当干涉圆弧的位置和加工时走刀线路设计不当时, 动、静涡旋在工作中始端涡旋齿就会出现齿碰现象, 如图 1 所示。利用直接截断型线的方法可以避免上述问题, 但这又将带来型线啮合的减小, 进而降低压缩比。本文将通过动、静涡旋型线的相对运

动分析, 来确定碰齿现象出现的条件及动涡旋外侧型线上最终啮合点在静涡旋内侧型线上的齿碰区域, 并找出渐开线基本参数与齿碰区域大小之间的关系, 分析加工中的走刀线路和刀具直径大小等因素对涡旋齿的性能及强度的影响, 提出一种较为合理的涡旋齿型线始端的加工方法。

1 渐开线型线啮合的基本理论

1.1 动、静涡旋型线在运转中的相对位置关系

在动静式涡旋压缩机中, 动、静涡旋型线的相位相差 π , 在运转中静涡旋盘固定, 动涡旋由曲轴带动作公转平动, 其运动规律可以由曲柄双滑块机构加以描述^[2], 如图 2 所示, 动涡旋上任一点的运动轨迹都是以曲轴回转半径为半径的圆^[2~4]。以静涡旋型线上的基圆圆心 O 为原点建立坐标系(与以下所建立的坐标系均相同), 动、静涡旋型线的相互啮合关系如图 3 所示: 静涡旋的内侧型线与动涡旋的外侧型线相啮合, 静涡旋的外侧型线与动涡旋的内侧型线相啮合, 两个啮合点对称并且在渐开线上的位置相同, 啮合点 B 在静涡旋型线中的中线展角为 φ ,

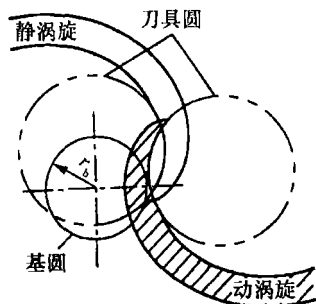


图 1 工作中的齿碰现象

Fig. 1 Wrap interference phenomenon in working process

收稿日期: 2004-04-26

作者简介: 王君(1976-), 男, 吉林梅河口人, 博士, 讲师。

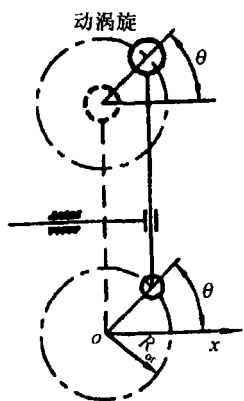


图 2 机构模型
Fig. 2 Mechanism model

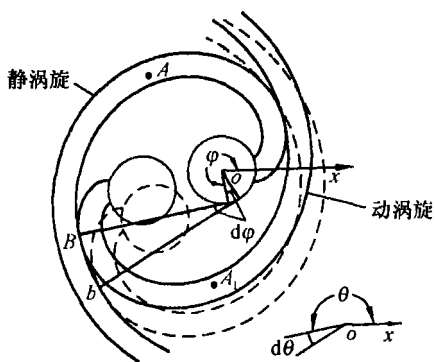


图 3 动静涡旋的啮合关系
Fig. 3 Mesh relationship between orbiting wrap and fixed wrap

此时的曲轴转角为 θ , 当曲轴转过一微小角度 $d\theta$ 时, 啮合点由 B 点变为 b 点, 啮合点在静涡旋上的中线展角增加 $d\varphi$. 显然有渐开线中线展角的增量等于曲轴转角的增量^[5], 即

$$d\theta = d\varphi \quad (1)$$

由此可知在运转过程中, 主轴转角的变化值与啮合点中线展角的变化值相等. 取静涡旋的任一点 A , 设其坐标为 (x_0, y_0) , 由于动静涡旋型线相同, 因此在动涡旋上有与 A 点具有相同位置的点 A_1 , 其坐标为 $(-x_0, -y_0)$, A_1 点在工作运转中的运动轨迹方程为

$$(x + x_0)^2 + (y + y_0)^2 = R_{or}^2 \quad (2)$$

式(2)为动涡旋上的与静涡旋上点 (x_0, y_0) 有相同位置的点的运动方程. 若 A 点不在式(2)所表示的圆内, 则在工作运行中 A 和 A_1 两点都不会发生碰齿现象; 若 A 点在式(2)所表示的圆内, 动涡旋上点的运动轨迹与静涡旋上的点相交, 则在工作运行中 A 和 A_1 两点必然发生碰齿现象. 将静涡旋上的每一个点都作上述比较, 即可判断是否发生齿碰现

象, 通常只需判断外侧型线上的最起始点即可.

为了便于讨论渐开线型线的特点, 本文定义渐开线型线的特征圆, 特征圆是指以基圆圆心 o 为圆心以曲轴回转半径 R_{or} 为直径的圆. 根据特征圆直径与基圆直径的大小将渐开线涡旋齿分为厚齿和薄齿, 即当 $R_{or} < 2r_b$ 或 $\alpha > \pi/2 - 1$ 时, 特征圆在基圆以内, 此时涡旋齿较厚, 称为厚齿; 当 $R_{or} > 2r_b$ 或 $\alpha < \pi/2 - 1$ 时, 特征圆在基圆以外, 此时涡旋齿较薄, 称为薄齿. 用上述方法可以得出: 在特征圆以内不能存在型线, 否则在运动过程中必发生齿碰现象. 图 1~3 中, r_b 为基圆半径, mm; α 为渐开线发生角, rad; R_{or} 为曲轴回转半径, mm; φ 为渐开线的中线展角, rad; θ 为曲轴转角, rad.

1.2 渐开线上啮合点中线展角的取值范围

随着主轴的转动, 渐开线上的啮合点是连续变化的, 以下将分别讨论厚齿和薄齿上啮合点中线展角的取值范围. 如图 4a 所示, 在特征圆小于基圆的厚齿中, 外侧渐开线上的起始点 A 与其中线展角相差 π 的内侧渐开线上的 D 点相啮合, 在这种情况下 A, D 两点为最终啮合点, 其中线展角分别为 $-\alpha$ 和 $\pi - \alpha$. 如图 4b 所示, 在特征圆大于基圆的薄齿中, 由上可知特征圆内不能存在型线, 因此外侧渐开线上的最终啮合点只能是特征圆与外侧渐开线上的交点 A . 设 A 点的中线展角为 φ , 则内侧渐开线上的最终啮合点 D 的中线展角为 $\pi + \varphi$, 因而在直角 $\triangle BAO$ 中有

$$r_b^2 + (\alpha + \varphi)^2 r_b^2 = R_{or}^2 \quad (3)$$

由于 $R_{or} = \pi r_b - 2r_b \alpha$, 代入式(3)化简得

$$\varphi = \sqrt{(\pi/2 - \alpha)^2 - 1} - \alpha \quad (4)$$

因此对于任意渐开线涡旋齿的外侧型线, 其上的最终啮合点的中线展角的最小值为

$$\varphi_{\min} = \begin{cases} \sqrt{(\pi/2 - \alpha)^2 - 1} - \alpha & (\alpha < \pi/2 - 1) \\ -\alpha & (\alpha > \pi/2 - 1) \end{cases} \quad (5)$$

则与其相对应的内侧渐开线最终啮合点中线展角的最小值为 $\varphi_{\min} + \pi$. 因而渐开线啮合点中线展角的取值范围分别是: 外侧型线为 $[\varphi_{\min}, \varphi_e - \pi]$, 内侧型线为 $[\varphi_{\min} + \pi, \varphi_e]$. 上式中, φ_{\min} 为外侧渐开线啮合点中心展角的最小值, rad; φ_e 为涡圈中心面渐开线最终展角, rad.

可见外侧渐开线的最终啮合点就是在特征圆以外外侧渐开线的最小中心展角值的点; φ_{\min} 的取值与 r_b 无关, 仅为 α 的函数; 内、外侧渐开线上相互啮合的点的中线展角值相差 π .

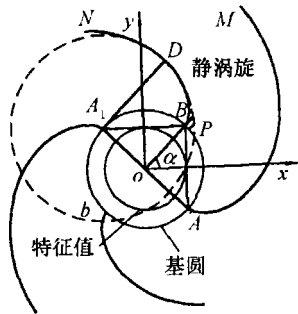
2 齿碰现象的分析

2.1 外侧型线上的最终啮合点在静涡旋上齿碰区域的确定

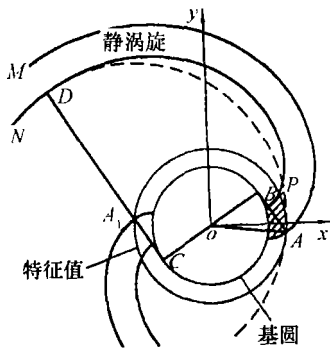
对于动、静涡旋型线相同的涡旋齿, 齿碰区域是指动涡旋外侧型线的最终啮合点的运动轨迹与完整的渐开线静涡旋齿相互重叠的区域. 这部分在加工设计中不能保留, 以下将讨论齿碰区域的大小及其所受影响因素.

在图 4a 所示的厚齿中, 静涡旋的最终啮合点 $A(\cos \alpha, -\sin \alpha)$ 绕 o 点旋转 π 后, 变为动涡旋的最终啮合点 $A_1(-\cos \alpha, \sin \alpha)$, A_1 点在工作中的运动轨迹为以 A_1 点为圆心, 以 R_{or} 为半径的圆, 如图中的虚线所示, 其方程为

$$(x + r_b \cos \alpha)^2 + (y - r_b \sin \alpha)^2 = R_{or}^2 \quad (6)$$



(a) 厚齿



(b) 薄齿

图 4 涡旋齿的齿碰区域

Fig. 4 Wrap interference area

此轨迹线与静涡旋齿相交的部分如图中阴影部分, 即为 A_1 点的齿碰区域, 齿碰区域由内侧型线上的最终啮合点 D 开始到基圆的 P 点上. 在动静式涡旋压缩机的型线设计中, 若要保留 A 点, 则图中的阴影部分在加工中不能保留, 故动、静涡旋齿的情形相同.

在图 4b 所示的薄齿中, 同理, 齿碰区域由动涡旋外侧型线上的最终啮合点的运动轨迹与静涡旋齿上的重叠区域所构成, 动涡旋上的最终啮合点 A_1

的运动轨迹如图中的虚线所示, 阴影部分为齿碰区域, 齿碰区域从内侧型线上的 D 点直到外侧型线上的 A 点, D 点的中线展角 φ 由式 (7) 和内侧渐开线方程确定, 即

$$\begin{aligned} & \{x + r_b [\cos \varphi_A + (\varphi_A - \alpha) \sin \varphi_A]\}^2 + \\ & \{y + r_b [\sin \varphi_A - (\varphi_A + \alpha) \cos \varphi_A]\}^2 = R_{or}^2 \quad (7) \end{aligned}$$

在图 4a 中, 若 $\overline{A_1B} > R_{or}$, 则动、静涡旋齿在工作运行中不会发生齿碰现象, 因为 A_1 点的轨迹不与静涡旋齿相交. 当 $\overline{A_1B} = R_{or}$ 时, 即为齿碰现象的临界情况, 据此可确定此时的 α 值. 因为 $\overline{AA_1} = 2r_b$, $\overline{AB} = 2r_b \sin \alpha$, $\overline{A_1B} = 2r_b \cos \alpha = R_{or}$, 整理得

$$\cos \alpha - \pi/2 + \alpha = 0 \quad (8)$$

由于 $\alpha \in (0, \pi/2)$, 解得: $\alpha_0 = 1.4048 \text{ rad} = 80.48911^\circ$, 式 (8) 为增函数, 因此当 $\alpha \in (\alpha_0, \pi/2)$ 时, 不会发生齿碰现象; 当 $\alpha \in (\pi/2 - 1, \alpha_0)$ 时, 动静涡旋齿碰仅在内侧渐开线上, 齿碰区域与内侧型线交点的中线展角为 $\pi - \alpha$, 即为 D 点; 当 $\alpha \in (0, \pi/2 - 1)$ 时, 齿碰区域扩展到外侧渐开线上. 可见, 随着 α 值的减小, 动、静涡旋齿在工作运转中由不发生齿碰, 到仅碰内侧型线, 最后到内、外侧型线都发生齿碰.

2.2 能够避免齿碰现象的加工方法

齿碰现象在工作运行中是绝对不允许出现的, 在没有确定齿碰区域之前, 通常在型线始端的设计和加工中有过多的切削型线, 这样虽能解决齿碰现象, 但是却过多地削弱了涡旋齿始端的强度, 降低型线的啮合. 为此本文设计了一种加工刀具干涉圆弧的生成法, 此法既能避免齿碰现象, 不影响原型线的啮合, 最小程度地削弱涡旋齿的强度, 又能在理论上增大内容积比. 其作图方法是: 在图 4a 所示的厚齿中, 针对外渐开线上的最终啮合点 A , 找出其关于原点 o 的对称点 A_1 , 以 A_1 为圆心, 以 R_{or} 为半径作圆弧 DC , 分别交内侧渐开线于 D 点, 交基圆于 P 点, 圆弧 DP 为所求圆弧, 此后的走刀路线的方向平行于 A 点对圆弧 DP 所在圆的切线方向, 按此路线加工出 A 点; 在图 4b 所示的薄齿中, 同理, 找出最终啮合点 A 和该点关于 o 点的对称点 A_1 , 以 A_1 为圆心, 以 R_{or} 为半径作圆弧 DA 分别交内侧渐开线于 D , 圆弧 AD 为所求圆弧 (容易证明 $\overline{A_1D} = \overline{AA_1} = R_{or}$).

在由以上方法所形成的涡旋齿中, 可知无论是厚齿还是薄齿, 刀具外圆轨迹与内侧渐开线都交于最终啮合点 D ; 渐开线与圆弧光滑过渡, 这是因为 DA_1 为基圆切线, A 点能与圆弧 DP 或 DA 实现啮

合,这是因为圆弧 DC 、 DA 即为 A 点的轨迹线;圆弧 DP 和 DA 的半径为 R_{or} ,以 R_{or} 为半径的刀具加工型线时,在 D 点保证渐开线与圆弧光滑过渡,加工成以上的圆弧可以实现 A_1 点与圆弧 DC 或 DA 的啮合.以上方法中利用了点和圆弧的啮合性,最大可能地增加了曲轴啮合转角,从理论上达到了无修正时的最大内容积比.但是这种啮合是点和圆弧的啮合,在实际中可靠性很低,在加工中应将尖点 A 倒钝使其变成小圆弧,这样在啮合中虽然间隙增大, A 点与圆弧 DP 或 DA 的啮合虽然不能用于增大型线的内容积比,但是在排气过程中仍然能最大可能地推动气体,有利于排气.

3 型线始端的加工

在型线的始端设计中,应考虑加工刀具直径大小和走刀路线的影响,加工刀具的半径应不大于图 4 中的 A_1D 值($A_1D = R_{or}$).若加工刀具直径大于 R_{or} ,无论如何也加工不出图 4 中的 D 点,这必将减小型线的啮合,达不到型线的最大内容积比.因此,曲轴回转半径的大小是衡量加工刀具半径的标准.若加工刀具的半径值等于曲轴回转半径大小,对于文中所述的刀具干涉圆弧的成形最为有利.在厚齿

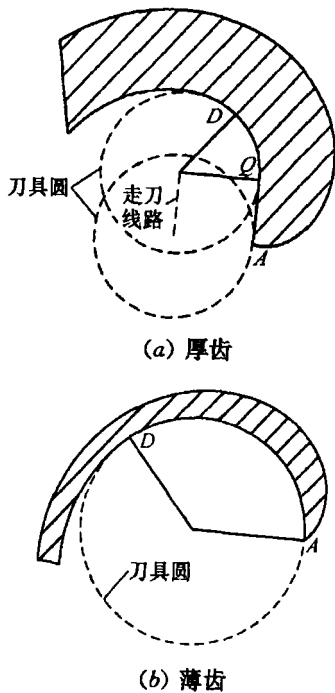


图 5 加工后的涡旋齿

Fig. 5 Manufacture scroll wrap

中加工刀具干涉圆弧之后的走刀路线的方向应平行于 A 点对圆弧 DP 所在圆的切线方向,这样可保证型线之间的光滑过渡,加工简单,不会过多地削弱涡旋齿始端的强度和刚度.图 5 为按以上方法加工出的涡旋齿形.

对于动、静涡旋型线相同的涡旋压缩机,内侧型线最终啮合点 D 以内的型线已经不参与啮合,故不必加工成渐开线,干涉圆弧从 D 点开始,不会影响型线的啮合和内容积比.文献[6~8]中讨论了渐开线涡旋齿加工中的问题,本文仅讨论型线始端的加工.总之,在型线始端的加工中应尽量只用最少数量的非渐开线型线,以减少加工难度,各连接点应光滑过渡,不至于出现应力集中.在渐开线型线的始端设计中应尽量地留出外侧渐开线,以增加啮合.

4 结论

- 1) 由特征圆与基圆的位置关系,将渐开线涡旋齿分为厚齿和薄齿,在薄齿中特征圆内不得留有型线.
- 2) 齿碰区域随渐开线发生角的减小,从无到有、从小到大变化.
- 3) 用动涡旋外侧型线上的最终啮合点的运动圆弧轨迹线作为静涡旋的内侧型线,不但在理论上实现了点和圆弧的啮合,增大了压缩比,而且在实际中也有利于排气过程.

参考文献:

[1] 樊 灵,屈宗长,靳春梅.涡旋压缩机型线研究的概述[J].机械工程学报,2000,36(9):1-4.
 [2] 刘振全,杜桂荣.涡旋压缩机理论机构模型[J].机械工程学报,1999,35(2):38-41.
 [3] 刘振全,柳泽正.涡旋机械的机构模型及理论分析[J].甘肃工业大学学报,1996,22(2):36-42.
 [4] 杜桂荣,刘振全.涡旋压缩机机构模型及径向随变调节原理[J].制冷学报,1997(2):1-7.
 [5] 李吉功,李树勋,刘振全.关于涡旋压缩机几个基本几何量的讨论[J].甘肃工业大学学报,2001,27(2):51-53.
 [6] 欧阳林子,陈仰贤,苏建宁,等.一种自适应的涡旋型线轮廓度误差评定方法[J].甘肃工业大学学报,2000,30(3):45-48.
 [7] 欧阳林子,陈仰贤,苏建宁,等.一种检测涡旋压缩机涡旋盘的新方法[J].甘肃工业大学学报,2000,30(4):34-37.
 [8] 陈仰贤,欧阳林子,李凤宇,等.对刀误差对涡旋线型精度的影响[J].甘肃工业大学学报,1999,25(3):50-54.