

文章编号: 1005-0329(2004)10-0010-04

## 设计计算

## 涡旋压缩机渐开线和圆弧组合型线的设计计算

王 君, 刘振全, 李 超

(兰州理工大学, 甘肃兰州 730050)

**摘 要:** 介绍了渐开线和圆弧组合型线的生成方法和特点, 建立了该组合型线的几何理论, 并得出了组合型线的方程和设计计算公式, 对该组合型线进行齿头双圆弧修正, 得出了一种特殊的型线, 并分析了其特点, 研究结果对组合型线的设计和变壁厚型线的研究有一定的指导作用。

**关键词:** 涡旋压缩机; 组合型线; 设计; 基本方程

**中图分类号:** TH55      **文献标识码:** A

## Design Calculation of Involute and Circular Arc Combined Profile for Scroll Compressor

WANG Jun, LIU Zhen-quan, LI Chao

(Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** The generation method and characteristics of combined profile composed of involute and circular arc are obtained. Its geometric theory is established. The equations and design formulations of this combined profile are given. A particular wrap profile is proposed by using a pair of circular arcs to modify the head of this combined profile, and its characteristics are also analyzed. The investigation results play a directive role for designing this combined profile and development of variable thickness wrap profile.

**Key words:** scroll compressor; combined profile; design; geometric theory

## 符 号

- $r$ ——与外侧渐开线连接的圆弧半径, mm  
 $R$ ——与内侧渐开线连接的圆弧半径, mm  
 $R_{or}$ ——曲轴回转半径, mm  
 $a$ ——基圆半径, mm  
 $R_n$ ——圆弧圆心到原点的距离, mm  
 $\alpha$ ——渐开线发生角, rad  
 $\varphi$ ——渐开线中线展角, rad  
 $\lambda_n$ ——组合圆弧的中心角, rad  
 $L$ ——型线弧长, mm  
 $n$ ——被替代的渐开线的圈数,  $n=1, 2, 3, \dots$ ,  
 $\sigma_n$ ——弧长减少系数, 即被替代的渐开线与连接圆弧的弧长之比

涡旋压缩机具有结构简单、体积小、重量轻、噪声低、振动小、易损件少等诸多优点而广泛应用于制冷空调系统和气动系统中。随着应用领域的逐渐拓宽, 所需要的压缩比也相应提高。通常用增加涡旋圈数来提高压力比, 但实际上圈数过多会导致压缩机内部传热性能恶化, 并且使泄漏长度增加<sup>[1]</sup>。采用变壁厚型线, 由于渐开线和圆弧所构成的组合型线较为简单, 是有效而可行的一种方法。目前有关组合型线的文献甚少<sup>[2]</sup>。本文旨在完善组合型线的基本原理, 找出圆弧与渐开线能够连接构成涡旋型线的条件, 建立描述组合型线的方程, 以用于组合型线的设计。

## 2 渐开线和圆弧组合型线的生成方法

如图1所示, 渐开线和圆弧组合型线是由具

## 1 前言

有相同的基圆半径  $a$  及渐开线发生角  $\alpha$  的渐开线型线 1、3 和连接圆弧 2 组成,其构成方法:在外侧渐开线上取展角分别为  $\varphi + \alpha, \varphi + \alpha + \lambda_n$  的两点 C、D,过这两点分别作基圆切线 Cc、Dd,分别交基圆于 c、d 两点延长 Cc 与 Dd 交于 E 点以 E 为圆心以 EC 为半径作圆弧 CD;同样在内侧渐开线上取展角分别为  $\varphi - \alpha + \pi, \varphi - \alpha + \pi + \lambda_n$  的两点 B、A,过这两点分别作基圆的切线 Bb、Aa,分别交基圆于 b、a 两点延长 Bb 交 Aa 于 F 点,以 F 点为圆心,以 FA 为半径作圆弧 BA;圆弧 CD 和 BA 即为该组合型线的连接圆弧。

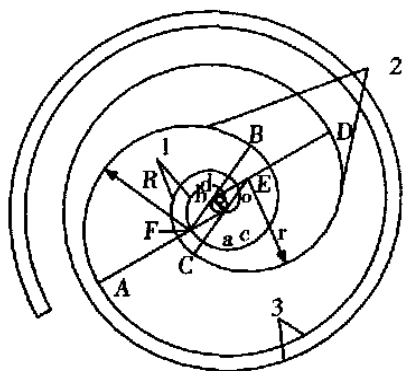


图 1 渐开线和圆弧组合型线

组合型线实际上是在同一涡圈上采用多段不同类型的型线连接为光滑型线<sup>[3]</sup>,本文的研究对象是在内、外侧渐开线上用中心角相同的圆弧线替代 1 圈或多圈以上的渐开线,即中心角为  $\lambda_n$  的圆弧代替了展角区间长度为  $\lambda_n + 2n\pi$  的渐开线;中心角  $\lambda_n$  是在作图时事先确定的,它必须满足  $CE = DE, BF = AF$  这一必要条件,  $\lambda_n$  的取值必须小于  $\pi$ ,否则将无法用圆弧来连接渐开线;两圆弧的圆心与圆弧端点的连线都是基圆的切线,因此在 4 个连结点 A、B、C、D 处渐开线与圆弧线光滑过渡;两圆弧的圆心 E、F 关于原点即基圆圆心 O 对称,也就是 E、F 两点到 O 点的距离相等,且两圆弧的半径之差为曲轴半径  $R_{or}$ (将在下文中证明)。图 2 所示为组合型线的啮合。

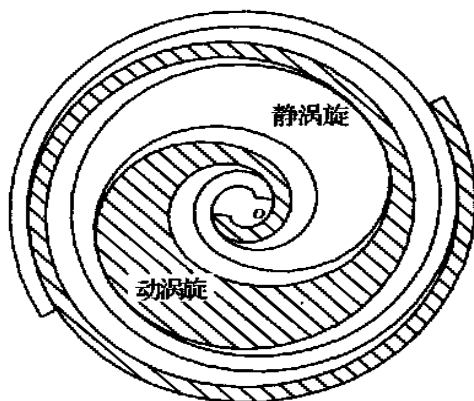


图 2 组合型线的啮合

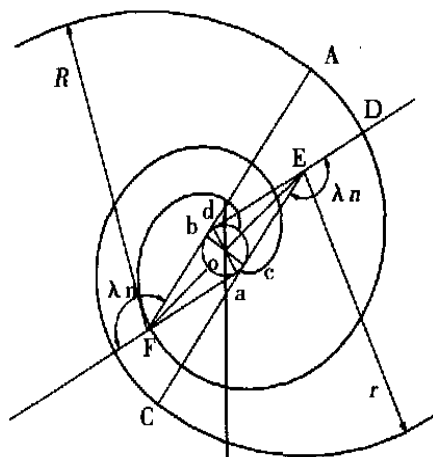


图 3 组合型线图

由组合型线的构成方法知:

$$\angle CED = \angle BFA = \lambda_n$$

由图 3 可得:

$$\angle cOd = \angle bOa = \lambda_n$$

其半角:  $\angle cOe = \angle dOe = \lambda_n/2$

Ec、Ed、Fb、Fa 都是基圆的切线,则:

$$Ec = Ed = Fa = Fb = a \tan(\lambda_n/2)$$

根据组合型线构成的必要条件  $DE = EC$ , 有:

$$Dd - Ed = Ec + Cc$$

$$\text{即 } a(\varphi + \alpha + \lambda_n + 2n\pi) - a \tan(\lambda_n/2) = a \tan(\lambda_n/2) + a(\varphi + \alpha)$$

$$\lambda_n/2 + n\pi = \tan(\lambda_n/2) \quad (1)$$

同理,根据条件  $BF = AF$  可以得到同样结果。因此式(1)是满足组合型线构成必要条件的结果,由式(1)可以确定  $\lambda_n$ 。

### 3.2 连接圆弧的方程和连接点的坐标

两圆弧的圆心 E、F 关于原点 O 对称,圆心 E、F 到原点的距离相等,且

$$Cc = a(\varphi + \alpha)$$

$$Dd = a(\varphi + \alpha + \lambda_n + 2n\pi)$$

$$R_n = \frac{a}{\cos(\lambda_n/2)} \tag{2}$$

E、F 两点的坐标为：

$$\begin{cases} x_E = -x_F = \frac{a}{\cos(\lambda_n/2)} \cos(\varphi + \lambda_n/2) \\ y_E = -y_F = \frac{a}{\cos(\lambda_n/2)} \sin(\varphi + \lambda_n/2) \end{cases} \tag{3}$$

两圆弧的半径：

$$r = Cc + cE, \quad R = Bb + bF$$

由此可得：

$$r = a[\varphi + \alpha + \tan(\lambda_n/2)] \tag{4}$$

$$R = a[\varphi + \pi - \alpha + \tan(\lambda_n/2)] \tag{5}$$

两圆弧的半径之差：

$$R - r = \pi a - 2\alpha a = R_{or}$$

与外侧渐开线相连接的圆弧 CD 的方程：

$$\begin{cases} x = x_E + r \cos \epsilon \\ y = y_E + r \sin \epsilon \end{cases} \quad \epsilon \in [\varphi - \pi/2, \varphi - \pi/2 + \lambda_n] \tag{6}$$

与内侧渐开线相连接的圆弧 BA 的方程：

$$\begin{cases} x = x_F + R \cos \epsilon \\ y = y_F + R \sin \epsilon \end{cases} \quad \epsilon \in [\varphi + \pi/2, \varphi + \pi/2 + \lambda_n] \tag{7}$$

连接点 C、D、B、A 的坐标：

$$\begin{cases} x_C = a[\cos \varphi + (\varphi + \alpha) \sin \varphi] \\ y_C = a[\sin \varphi - (\varphi + \alpha) \cos \varphi] \\ x_D = a[\cos \varphi + (\varphi + \alpha + \lambda_n) \sin \varphi] \\ y_D = a[\sin \varphi - (\varphi + \alpha + \lambda_n) \cos \varphi] \\ x_B = a[-\cos \varphi - (\varphi + \pi - \alpha) \sin \varphi] \\ y_B = a[-\sin \varphi + (\varphi + \pi - \alpha) \cos \varphi] \\ x_A = a[-\cos \varphi - (\varphi + \pi - \alpha + \lambda_n) \sin \varphi] \\ y_A = a[-\sin \varphi + (\varphi + \pi - \alpha + \lambda_n) \cos \varphi] \end{cases} \tag{8}$$

### 3.3 组合型线连接圆弧的弧长

与外侧型线连接的圆弧 CD 的长度：

$$L_{CD} = \lambda_n r = a \lambda_n [\varphi + \alpha + \tan(\lambda_n/2)]$$

被替代的外侧渐开线的长度：

$$\begin{aligned} L_1 &= \int_{\varphi + \alpha}^{\varphi + \alpha + \lambda_n + 2n\pi} a \varphi d\varphi \\ &= a(\varphi + \alpha + \lambda_n/2 + n\pi)(\lambda_n + 2n\pi) \end{aligned}$$

长度之比：

$$L_1/L_{CD} = 1 + 2n\pi/\lambda_n$$

同理，对内侧有：

$$L_{BA} = \lambda_n R = a \lambda_n [\varphi + \pi - \alpha + \tan(\lambda_n/2)]$$

被替代的内侧渐开线的长度：

$$\begin{aligned} L_2 &= \int_{\varphi + \pi - \alpha}^{\varphi + \pi - \alpha + \lambda_n + 2n\pi} a \varphi d\varphi \\ &= a(\varphi + \pi - \alpha + \lambda_n/2 + n\pi)(\lambda_n + 2n\pi) \end{aligned}$$

长度之比：

$$L_2/L_{BA} = 1 + 2n\pi/\lambda_n$$

可见，内、外侧被替代的渐开线长度之比与圆弧的长度之比相同，即：

$$\sigma_n = 1 + 2n\pi/\lambda_n \tag{9}$$

### 3.4 讨论

被替代的渐开线的整圈数  $n$  为不小于 1 的正整数，如果  $n=0$ ，只有原来的渐开线，没有圆弧，此时式(1)只有零解，这说明式(1)与实际相符。图 4 为  $n$  取不同值时的组合型线，可见  $n$  的取值越大，组合型线的最大壁厚越大，与原渐开线相比型线长度的减少程度越大； $\lambda_n$ 、 $R_n$ 、 $\sigma_n$  都随  $n$  的增大而增大，是  $n$  的离散增函数，当  $n \rightarrow +\infty$  时， $\lambda_n \rightarrow \pi$ ， $R_n \rightarrow +\infty$ ， $\sigma_n \rightarrow +\infty$ 。 $\lambda_n$ 、 $R_n$ 、 $\sigma_n$  与  $n$  之间的关系如表 1 所示。

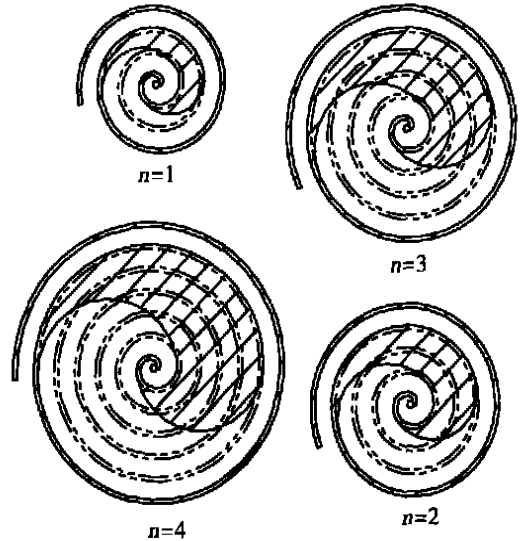


图 4  $n$  取不同值的组合型线

表 1  $\lambda_n$ 、 $R_n$ 、 $\sigma_n$  与  $n$  之间的关系 ( $a=1\text{mm}$ )

$n$	$\lambda_n$ (rad)	$R_n$ (mm)	$\sigma_n$
1	2.7036	4.6033	3.3239
2	2.884	7.7897	5.3570
3	2.9586	10.9498	7.3709
4	2.9996	14.1016	9.3785

式(1)~(5) 和(9)为描述组合型线的基本方程；式(6)~(8)为连圆弧的方程和 4 个连接点的坐标。组合型线的设计步骤：(1)取定基圆半径  $a$  和渐开线发生角  $\alpha$ ，建立渐开线；(2)选择初始展角  $\varphi$  和整圈数  $n$ ；(3)根据式(1)计算圆弧中心角  $\lambda_n$ ；(4)根据式(3)~(5)计算两圆弧的圆心坐标和半径的数值。

组合型线比普通型线长度有很大的缩短，泄

漏线长度也相应减小,因此就高压压缩比而言,组合型线涡旋压缩机能提高容积效率并改善加工性能;然而由于漏线长度的减小使工作腔对数减少,进而工作腔之间压差增大,所以相邻的工作腔之间的压差增大,泄漏量增加,这是其不利的一面<sup>[4]</sup>;但其热交换时间大大缩短,气体驻留在涡旋体内部的时间大为缩短,这样高压气体产生的热量来不及扩散就被排出,减少了对进气的加热程度,有利于排气温度的降低并提高运行效率。

### 3.5 一个特殊的型线结构

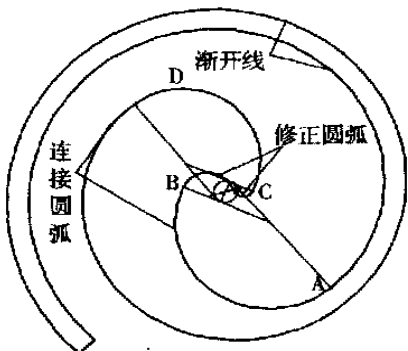


图5 组合型线的圆弧修正示意

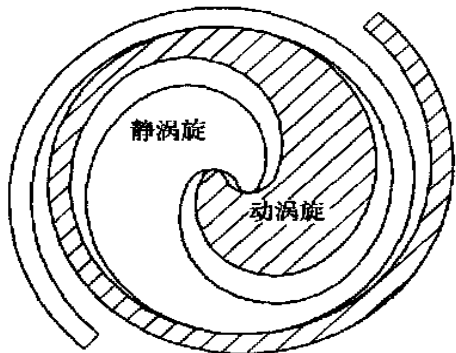


图6 啮合图

对组合型线齿头进行圆弧修正<sup>[5]</sup>,且修正展角与组合型线的初始展角取相同的数值,如图5

所示。这种型线由外部渐开线、连接圆弧、修正圆弧组成。在型线始端没有渐开线,此结构兼顾了组合型线和圆弧修正型线的优点,即压力比大、泄露长度短、型线完全啮合(其啮合如图6所示)、增加了心部空间的利用率。

## 4 结论

(1) 得出了渐开线和圆弧组合型线中各参数之间的关系,两连接圆弧的方程和4个连接点的坐标,为组合型线的设计和加工提供了理论依据;

(2) 圆弧中心角 $\lambda_n$ 、圆心距原点的距离 $R_n$ 、型线弧长减少系数 $\sigma_n$ 都是 $n$ 的函数,这是一个离散的增函数, $\lambda_n$ 、 $\sigma_n$ 只受 $n$ 的影响,与基圆半径 $a$ 和渐开线发生角 $\alpha$ 无关; $R_n$ 与 $a$ 成正比,与 $\alpha$ 无关。

### 参考文献:

- [1] 樊灵,等. 涡旋压缩机通用型线设计的现状与进展[J]. 流体机械, 2000, 28(1): 27-30.
- [2] 李连生. 涡旋压缩机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 56-62.
- [3] 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.
- [4] 司玉宝,等. 关于变壁厚涡旋压缩机的开发和研究[J]. 压缩机技术, 1998, 148(2): 41-42.
- [5] 刘振全, 於时才, 杜桂荣. 涡旋式压缩机涡旋齿线性修正的图解法和修正角的研究[J]. 制冷学报, 1992, 52(2): 6-10.

作者简介: 王君(1976-), 男, 博士生, 研究方向为涡旋压缩机、容积式压缩机和流体机械, 通讯地址: 730050 甘肃兰州市兰州理工大学石油化工学院。

## 2005 年度《管道技术与设备》杂志征订启事

《管道技术与设备》杂志是由国家科委批准的应用技术性期刊, 是国家科技论文统计用刊, 中国学术期刊综合评价数据库来源期刊, 《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊全文数据库》、《中国石油文摘数据库》等多家著名数据库收录期刊。《管道技术与设备》杂志面向原油、成品油、天然气、化工、热力管网、煤气、城市给排水管网、煤浆、矿浆、冶金等与管道输送有关的行业。

《管道技术与设备》杂志国内外发行, 大16开本, 双月月未出版。全国各地邮局均可订阅。邮发代号: 8-145, 国内统一刊号: CN21-1312/TH, 国际标准刊号: ISSN1004-9614, 单价: 3.8元/册, 全年价: 22.8元。通讯地址: 沈阳市大东区北海街242号, 邮编: 110043, 传真: (024) 88524579, 编辑部电话: (024) 88713979-466, 稿件 E-mail: info@i-s.com.cn, 广告部电话: (024) 88524579 88718436。