

文章编号: 1005-0329(2005)11-0053-04

设计计算

涡旋压缩机型线几何参数的优化设计方法研究

刘兴旺, 马小礼, 刘振全, 李 超

(兰州理工大学, 甘肃兰州 730050)

摘 要: 在涡旋压缩机的设计中, 传统的设计方法是在满足设计要求和涡盘的加工工艺条件下给出型线几何参数, 但这难以保证压缩机摩擦功耗和泄漏损耗较小, 严重影响了压缩机的机械效率和容积效率的提高。本文在考虑使设计出的压缩机摩擦功耗和泄漏损耗最小的基础上, 提出了一种涡旋型线几何参数设计的新方法。

关键词: 涡旋型线; 倾覆力矩; 摩擦功耗; 泄漏损耗; 设计方法

中图分类号: TH45 **文献标识码:** A

A Kind of Vortex Type Line Geometry Parameter Optimization Method

LIU Xing-wang, MA Xiao-li, LIU Zhen-quan, LI Chao

(Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Traditional design procedures provide parameters by meeting designing requirement and processing technology in the design of the scroll compressor. This kind of design procedures are so difficult to guarantee lower friction horsepower and leakage loss that seriously influenced the improvement of mechanical efficiency and volume efficiency. A new method of scroll molded lines of geometric parameter was put forward on the basis of the least friction horsepower and leakage loss.

Key words: scroll molded lines; upsetting moment; friction horsepower; leakage loss; design procedures

1 前言

涡旋压缩机在运转过程中, 依靠动静涡旋盘的啮合来实现吸气、压缩、排气工作过程。因此动静涡旋盘的结构参数的优化是提高压缩机效率的主要途径。以往的优化方法, 主要集中于涡旋型线的修正上, 本文将基于减小压缩机的摩擦功耗和泄漏损耗对涡旋型线的几何参数的优化设计方法进行一些研究。

2 涡旋型线的主要几何参数间关系

由于基圆渐开线的理论比较成熟且易于数控机床加工, 所以目前常采用基圆渐开线作为涡盘型线^[1]。基圆渐开线型线的基本参数见图 1。

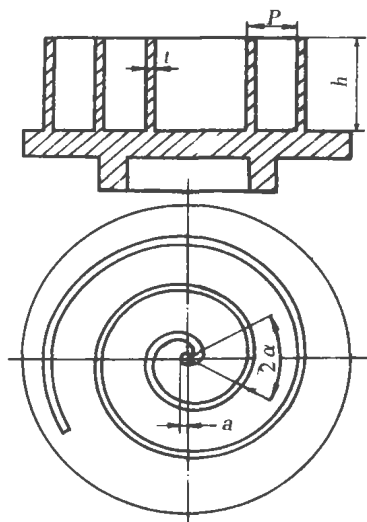


图 1 动涡旋盘的结构示意

由涡盘几何特征可得各参数之间的关系:

$$P=2\pi a \quad (1)$$

$$t=2a\alpha \quad (2)$$

$$V_s=\pi P(P-2t)(2n-1-(\theta/\pi))h \quad (3)$$

$$v=\frac{2n-1-(\theta_s/\pi)}{3-(\theta^*/\pi)} \quad (4)$$

$$\phi_o^2+2\phi_o\sin(\phi_o-\alpha)+2\cos(\phi_o-\alpha) \\ =(\pi-\alpha)^2-2 \quad (5)$$

$$\theta^*=(3\pi/2)-\phi_o+\alpha \quad (6)$$

式中 P ——涡旋体节距, mm

a ——基圆半径, mm

t ——涡旋体厚度, mm

α ——基圆渐开线起始角, °

V_s ——涡旋体的行程容积, mm³

h ——涡旋体的高度, mm

θ_s ——吸气结束角, °

v ——容积比

n ——渐开线的圈数

θ^* ——开始排气角, °

ϕ_o ——刀具和外侧渐开线干涉点的展角, °

由以上关系可表明, 在给定 P_s , V_s 和 v 的条件下, 所有几何参数中只有 3 个是独立的, 即只要确定 3 个独立的几何参数, 即可确定涡旋型线的其它几何参数。

3 涡旋型线的优化设计

传统的设计方法是在满足设计要求和涡盘的加工工艺条件下给出涡旋型线几何参数, 这种设计方法难以保证压缩机摩擦功耗和泄漏损耗较小, 严重影响了压缩机的机械效率和容积效率的提高。能够满足设计要求和涡盘的加工工艺条件的涡旋型线几何参数有很多组^[2]。若能从多组几何参数中选出一组使涡盘摩擦功耗和泄漏量较小的参数, 则这组参数才是较为理想的几何参数。

3.1 设计变量的确定

压缩机的设计中, P_s , V_s 和 v 一般是作为已知参数给出的。首先可根据式(4)并参考一些成型产品初选涡旋型线圈数 n , 又由于涡旋体壁厚 t 是一个独立、直观、易于测量、对其它几何参数影响相对较小的几何参数, 所以可在保证满足强度和刚度的条件下, 选定涡旋体壁厚 t 的值。最后, 选取涡旋齿高度 h 作为设计变量。

3.2 涡旋盘的摩擦损耗与几何参数间的关系

涡旋压缩机在运转过程中, 动涡旋盘受到轴

向气体力 F_a 、背压腔气体力 F_b 、与静涡旋盘端面的接触力 F_p 、切向气体力 F_t 、径向气体力 F_r 、离心力 F_c 以及倾覆力矩 M_t 和自转力矩 M_r 的作用。如图 2 所示。

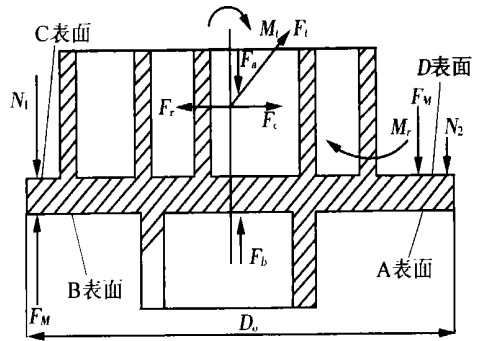


图 2 动涡盘受力示意

动涡盘上产生摩擦损耗的部位有 5 处, 分别为: (1) 动静涡盘底板上表面和静涡盘贴合处; (2) 十字滑环槽和十字滑环键之间; (3) 动静涡旋盘径向啮合处; (4) 涡旋齿齿顶和槽底间; (5) 主轴曲柄销与动涡盘被驱动面之间。

经动力学分析, 以上 5 处摩擦副处, 动涡盘上表面和静涡盘的端面贴合处的摩擦损耗受涡旋盘型线几何参数的影响最大, 该处的最小摩擦损失功率 P_f 为:

$$P_f=\frac{M_t f \pi(\pi a-t) n'}{30(4 \pi n a+2 t a-t)} \quad (7)$$

式中 M_t ——动涡盘上所受总倾覆力矩, N·m

f ——摩擦系数

n' ——主轴转速, r/min

3.3 涡旋盘的泄漏损耗

涡旋压缩机普遍采用间隙密封的方法, 此方法在提高了压缩机可靠性的同时也产生了泄漏难以控制的问题。涡旋压缩机的内泄漏使其功耗增加, 外泄漏既增加了功耗, 又减小了排气量。涡旋压缩机的泄漏形式主要有 2 种: 通过轴向间隙的径向泄漏和通过径向间隙的切向泄漏。

径向泄漏是由动涡旋盘齿顶与静涡旋盘底以及静涡旋齿顶端与动涡旋盘底之间的轴间隙在压差作用下引起的工质泄漏, 如图 3 所示。

径向气体泄漏消耗的功率 N_{hi} 为:

$$N_{hi}=\frac{k}{k-1} \alpha_r \rho_i(\theta) c_g L_i R T_{i+1} \left[\left(\frac{p_i}{p_{i+1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \left\{ \frac{2k}{k-1} R T_i \left[1 - \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^{1/2} \quad (8)$$

式中 k ——等熵指数

α_r ——径向流量系数

- $\rho_i(\theta)$ ——第 i 个压缩腔在主轴转角 θ 下的瞬时密度, kg/m^3
- c_g ——两油膜间的气体流动间隙, mm
- T_i ——第 i 个压缩腔中的气体温度, K
- $L_{ri}(\theta)$ ——第 i 个压缩腔在主轴转角 θ 下的径向泄漏线长度, mm
- ω ——主轴角速度, $1/\text{s}$
- p_i ——第 i 个压缩腔瞬时气体压力, Pa

切向泄漏是由动静涡旋盘的内外侧型线之间存在的径向间隙在压差的作用下引起的工质泄漏, 如图 4 所示。

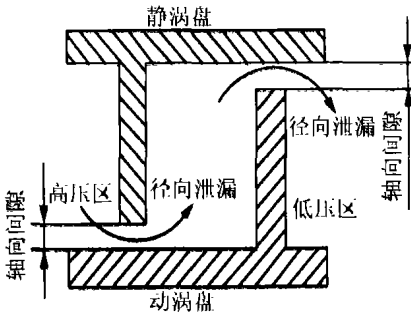


图 3 径向泄漏示意

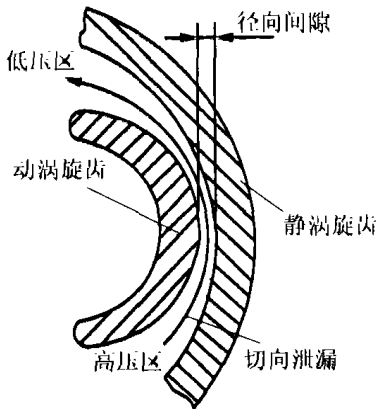


图 4 切向泄漏示意

切向泄漏消耗的功率 N_{bi} 为:

$$N_{bi} = \frac{k}{k-1} \alpha_r \rho_i(\theta) c_r h R T_{i+1} \left[\left(\frac{p_i}{p_{i+1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \times \left\{ \frac{2k}{k-1} R T_i \left[1 - \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^{1/2} \quad (9)$$

式中 α_r ——切向流量系数

c_r ——径向间隙中两油膜间的气体流动间隙, mm

h ——涡旋齿高, mm

由式(8)、(9)可知, 泄漏损耗除了与气体的性质、气体的热力参数及润滑油的性质有关外, 还与泄漏线的长度、泄漏间隙的大小有关。而泄漏间

隙的大小通常由加工精度和装配精度保证, 泄漏线长度的大小取决涡旋型线的几何参数, 因此, 研究涡旋型线的几何参数对泄漏线长度的影响对涡旋型线的优化设计尤为重要。

圆的渐开线涡旋线第 i 个压缩腔的径向泄漏线长度 L_{ri} 为:

$$L_{ri} = P(2\pi i - \theta) \quad (10)$$

对于任一个压缩腔, 通过径向间隙 C 的切向气体泄漏长度 L_{ti} 是涡旋型线的高度, 从压缩腔的对称性可知:

$$L_{ti} = 2h \quad (11)$$

所以对一台压缩机, 总的切向泄漏线长度为:

$$L = 2Nh + \sum_{i=1}^N P(2\pi i - \theta) \quad (12)$$

3.4 基圆渐开线型线几何参数的优化方法

在保证满足强度和刚度的条件下, 选定涡旋体壁厚 t 的值, 然后通过计算涡盘摩擦损耗和泄漏线长度, 选取使涡盘摩擦损耗和泄漏线长度均较小的涡旋齿高度 h 作为第三个独立的参数。其它几何参数可根据 P_s 、 V_s 、 v 、 n 、 t 、 h 完全确定。最后, 还要结合加工工艺对确定的几何参数做适当圆整。

4 实例计算

空压机的已知参数为: $p_s = 0.1 \text{MPa}$; $V_d = 0.184 \text{m}^3/\text{min}$; $p_d = 0.7783 \text{MPa}$; $n = 3600 \text{r}/\text{min}$; $\rho_1 = 7.783$; $V_s = 5 \times 10^4 \text{mm}^3$; $k = 1.41$ 。

由前述公式可确定出 $n = 3$, $t = 4 \text{mm}$ 。

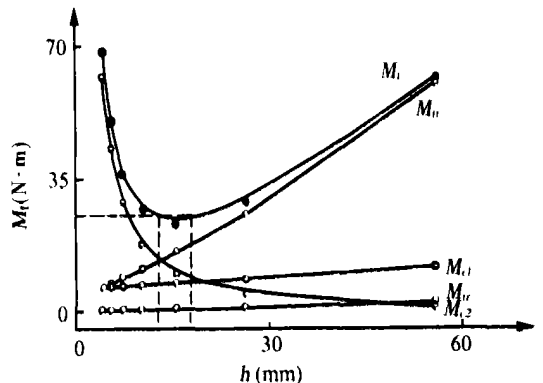


图 5 总倾覆力矩 M_t 和涡旋齿高 h 的关系

求得不同 h 值下的倾覆力矩 M_t , 最小摩擦损耗 P_f 和泄漏线长度 L 如图 5~7 所示。图中, M_{t1} 为切向气体力引起的倾覆力矩; M_{t2} 为径向气体力引起的倾覆力矩; M_{c1} 为涡旋齿的离心惯性力引起

的倾覆力矩; M_{c2} 为涡盘底板的离心惯性力引起的倾覆力矩。

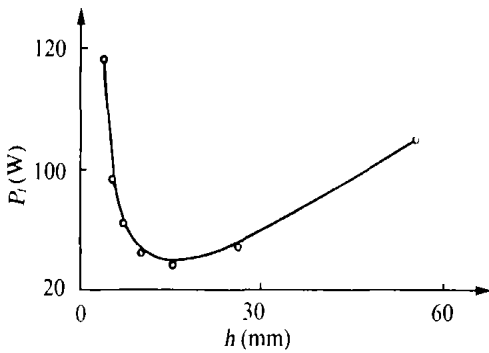


图 6 P_f-h 关系曲线示意

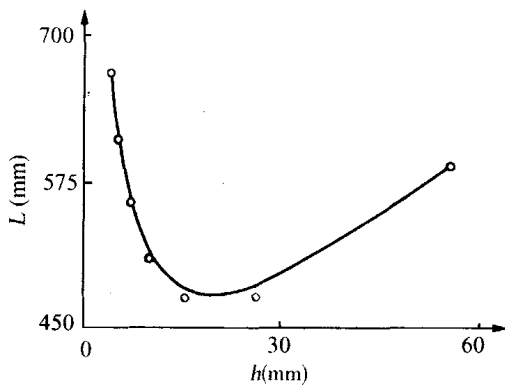


图 7 泄漏线长度 L 与涡旋齿高度 h 的关系

由图 5~7 可看出, 涡旋齿高度 h 在 13~26mm 的范围内取值, 涡旋盘摩擦损耗和泄漏线长度均较小。

5 结论

(1) 提出了一种基于涡盘摩擦损耗和泄漏损耗较小的设计基圆渐开线涡旋型线几何参数的新方法;

(2) 通过实例计算, 证实了这种设计新方法的可行性;

(3) 这种新的设计方法对设计其它类型型线几何参数有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 李连生. 涡旋压缩机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 19-26
- [2] 郁永章. 容积式压缩机技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000. 738-740

作者简介: 刘兴旺(1970-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事过程流体机械的科研和教学工作, 通讯地址: 730050 甘肃兰州市兰州理工大学石油化工学院过程装备与控制系。

(上接第 60 页)

(3) 通过对固体颗粒和液体在径向、轴向和切向的跟随性分析, 认为除径向以外在轴向、切向亦存在跟随性差异, 其跟随性差异的大小与颗粒的粒径、密度、流体性质与湍动强度有关。

参考文献:

- [1] [俄] А И ПОВАРОВ, 王永嘉译. 选矿厂水力旋流器[M]. 冶金工业出版社, 1982
- [2] Yang I H, Shin C B, Kim T H, et al. A Three-dimensional Simulation of a Hydrocyclone for the Sludge Separation in Water Purifying Plants and Comparison with Experimental Data[J]. Minerals Engineering, 2004, 17: 637-641.
- [3] 褚良银, 陈文梅, 戴光清, 等. 水力旋流器[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998
- [4] 王玉波. 重力选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982
- [5] 徐继润, 罗茜. 水力旋流器内固体颗粒间的相互作用[J]. 中国矿业, 1997, 6(2): 53-57.
- [6] Savage S B, Mcheown S. J Fluid Mech., 1984, 127: 453-

472

- [7] 邓志安. 剪切流中颗粒受力特性[J]. 石油化工设备, 2001, 30(6): 18-20
- [8] 徐继润, 刘正宁, 邢军, 等. 水力旋流器内颗粒运动的几个问题[J]. 过滤与分离, 2002, 12(3): 10-13
- [9] 孙国刚, 李静海, 巩馥洲, 等. 颗粒流体两相流动的随机性分析[J]. 科学通报, 2000, 45(3): 256-259
- [10] Averous J, Fuentes R. Advances in the Numerical Simulation of Hydrocyclone Classification[J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 1997, 36(5): 309-314.
- [11] 褚良银, 陈文梅. 旋转流理论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- [12] 徐继润, 罗茜. 水力旋流器内固体固液两相流间的相对运动(I)——颗粒运动方程及其求解[J]. 中国有色金属学报, 1998, 8(3): 487-491.

作者简介: 王志斌(1963-), 男, 副教授, 研究方向: 过滤与分离, 通讯地址: 610065 四川成都市四川大学化工学院化机系 2003 级博士研究生。