

## 无油润滑涡旋压缩机齿端面密封的研究

李海生<sup>1</sup> 刘振全<sup>1</sup> 彭斌<sup>2</sup> 陈英华<sup>1</sup> 王作洪<sup>1</sup>

(1. 兰州理工大学石油化工学院 兰州 730050; 2. 兰州理工大学机电工程学院 兰州 730050)

**摘要:** 涡旋压缩机在工作过程中动、静涡盘之间间隙存在泄漏损失,它是影响无油润滑涡旋压缩机工作性能的重要因素。在涡旋齿端面加由自润滑材料制成的密封条是实现无油润滑的一项关键技术。本文从材料和结构两方面阐述了密封条的基本特点,介绍了密封条的两种结构模型,说明了各自的工作原理,并对两种模型进行了受力分析,得出了密封条正常工作应满足的条件及选用两种结构模型应注意的问题。结果表明:密封条不但可以阻止通过轴向间隙的泄漏,而且降低了涡旋齿与涡盘底部摩擦功率损失。

**关键词:** 无油润滑涡旋压缩机;密封条;结构模型;工作原理;受力分析

**中图分类号:** TH45 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-0150(2006)1-108-3

## Research on the Tooth Sealing of Oil-free Scroll Compressor

Li Haisheng<sup>1</sup> Liu Zhenquan<sup>1</sup> Peng Bin<sup>2</sup> Chen Yinghua<sup>1</sup> Wang Zuohong<sup>1</sup>

(1. College of Petrochemical Tech, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China;

2. College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** There is some leak losing between two scroll teeth when scroll compressor is working. The leakage problem is an important factor to influence the work performance of oil-free scroll compressor. The installation of self-lubricative seal element of scroll tooth is a key technique for oil-free scroll compressor. The characteristics of seal element were expatiated from material and structure, two kinds of structure models were introduced, and the work principle and exocogitate force analysis of two kinds of models was explained. The result shows the seal element can hold back the leakage through axial clearance and reduce friction power loss between scroll tooth and bottom of scrolls.

**Keywords:** oil-free scroll compressor; seal element; structure model; work principle; force analysis

涡旋压缩机是一种新型容积式压缩机。它具有结构简单、低噪声、效率高、可靠性好等优点,在工业中具有广泛的应用。无油润滑涡旋压缩机的压缩气体不带油,常被用在一些特殊的工作条件下,如食品工业、制药工业、空气分离工业等。实现涡旋压缩机的无油润滑后,节省了润滑油,取消了注油器、油气分离器等设备,减少了对环境的污染。无油润滑涡旋压缩机在运转过程中必然存在着泄漏,由于它本身的特殊性,泄漏问题一直得不到很好的解决<sup>[1]</sup>。本文作者从密封条的材料和结构模型两方面出发研究了涡旋齿端面的密封。

### 1 涡旋压缩机泄漏分析

无油润滑涡旋压缩机密封间隙分为径向间隙和轴向间隙,泄漏主要是通过径向间隙的周向泄漏和通过轴向间隙的径向泄漏。造成径向间隙的原因很多,有加工精度和装配精度的影响,也可能是防自传机构不能完全控制动涡盘的自转所致。影响轴向间隙的因素

除加工误差外,背压腔结构中气体力的变化也是导致轴向间隙变化的主要原因。相对来说,轴向间隙的泄漏线长度比径向间隙的泄漏线长度大得多,因此阻止通过轴向间隙的径向泄漏对提高整机性能有着重要的作用。对于无油润滑涡旋压缩机,需要在动、静涡盘的涡旋齿顶部开设密封槽,把由自润滑材料制成的密封条放置于密封槽中来防止通过轴向间隙的径向气体泄漏<sup>[2]</sup>。

### 2 密封条的基本特点

#### 2.1 密封条材料

密封条在工作时,兼有密封件和摩擦件两种功能。因此密封条应该选用既能满足良好密封耐磨性又好的材料。密封条工作环境具有高压差、高速、高温的特点,在无油润滑条件下,希望密封条材料导热性好、耐磨、摩擦因数小、机械强度高、性能稳定。

聚四氟乙烯、聚醚醚酮(PEEK)、聚醚砜(PES)是用来制备密封条的3种常用材料。聚四氟乙烯是常用的一种润滑材料,具有优良的耐高低温、耐腐蚀、自润滑性能好等优点,已被广泛地应用作为密封材料和填充材料,但它的缺点是线膨胀系数大、尺寸稳定性差、导热性差,在较大载荷下呈现蠕变。聚醚醚酮

收稿日期:2005-01-13

作者简介:李海生(1980—),男,硕士研究生.E-mail:lihss@mail2.lut.cn.

(PEEK) 是一种新型的耐高温、高性能的热塑性特种工程材料。由于机械性能优异、自润滑性能好、易加工等诸多优点，在很多工业领域得到广泛的应用。聚醚醚酮 (PES) 是无定型树脂中耐热等级最高的，它的长期耐热温度为 180 ℃，具有尺寸稳定性好、耐腐蚀、抗蠕变等一系列优异的综合性能，特别是具有可以在高温下连续使用和温度急剧变化的环境中仍能保持性能稳定等突出优点。对以上 3 种材料分别进行共混、填充、纤维复合等增强改性处理，可以得到更耐热、耐磨损、抗疲劳和抗冲击的复合材料，进而可以得到性能更加优异的密封条。

### 2.2 密封条结构

图 1 所示三维模型描述了动涡盘与密封条的位置关系。密封条的形状与密封槽相同，工作时密封条伸出涡旋体顶部一定距离。为了保证密封效果，密封槽的形位公差和尺寸公差应有一定的要求，密封槽宽度应考虑密封条热膨胀的影响<sup>[3]</sup>。



图 1 密封条结构示意图

### 3 密封条的两种结构模型

密封条的主要作用是密封轴向间隙，防止气体沿径向从压缩容积的一侧漏向另一侧。本文将从工作原理和受力分析两个角度出发，介绍密封条的两种结构模型。

#### 3.1 密封条工作原理

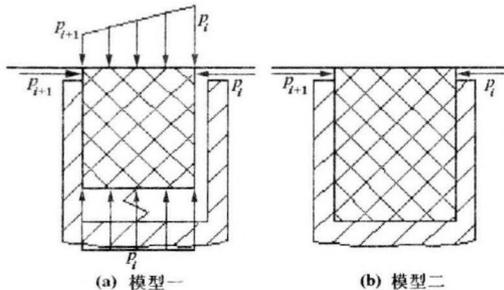


图 2 密封条工作原理示意图

密封条工作原理如图 2 所示。

对于模型一，当气体通过高压不平的间隙时，受到节流作用使压力由  $p_i$  降至  $p_{i+1}$ 。在高压一侧密封条与槽产生侧间隙，密封条底部由于弹簧作用产生背间隙。在背间隙处有一近似于  $p_i$  的背压作用，密封条顶部作用的气体力是变化的。假设压力从  $p_i$  降至  $p_{i+1}$  是线性分布，轴向产生了压力差  $\Delta p$ ，如图 2 (a) 所示，则有：

$$\Delta p = p_i - \frac{p_i + p_{i+1}}{2} = \frac{p_i - p_{i+1}}{2} \quad (1)$$

压力差越大，密封条所受密封压紧力越大，使密封条紧贴在涡盘底部达到密封作用，这表明密封条具有自紧密封的特点。

对于模型二，密封条装入槽后，由于弹性产生预弹力  $p_k$ ，使密封条紧贴在涡盘底平面和侧平面。密封条与密封槽不产生间隙，可将动涡盘和密封条看作整体。背压腔中的气体对动涡盘施加一个与轴向气体力相反的轴向气体平衡力，只要轴向气体平衡力不小于轴向气体力，就可以保证密封条顶部与静涡盘贴合，尽可能减小轴向间隙，使气体受到阻塞，达到密封的目的，如图 2 (b) 所示。轴向平衡力的大小由背压腔的设计所决定。

#### 3.2 密封条受力分析

密封条受力分析图如图 3 所示。

对密封条模型一受力分析之前，先作如下假设：

- (1) 密封条密度、体积都很小，因此忽略密封条重力的影响；
- (2) 在受气体力的平面，气体力均匀；
- (3) 密封条顶部弹性变形较小，不会影响摩擦力  $F_f$  与涡盘底部支持力  $F_{NZ}$  的方向和大小。

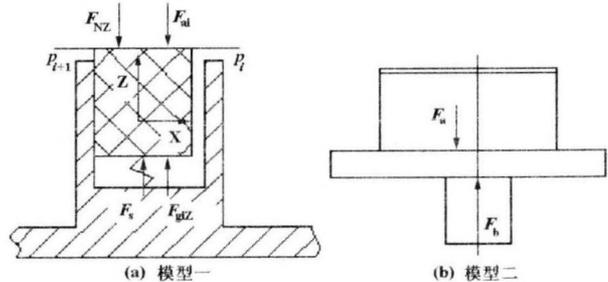


图 3 密封条受力分析图

取第  $i$  压缩腔的密封条进行受力分析，其截面受力情况如图 3 (a) 所示。

第  $i$  压缩腔中，密封条两边工作腔的气体压力分别为  $p_i$ 、 $p_{i+1}$ ，且  $p_i > p_{i+1}$ ，则密封条所受轴向密封力为：

$$F_{ai} = \frac{p_i + p_{i+1}}{2} \cdot L_{ii} b \quad (2)$$

密封条底部所受气体力为：

$$F_{gz} = p_i L_{ii} b \quad (3)$$

密封条底部弹簧力为：

$$F_s = kx_0 \quad (4)$$

式中： $b$  为密封条宽度， $L_{ii}$  为轴向间隙的密封线长度， $k$  为弹簧的刚度， $x_0$  为弹簧的预压缩量。

由此可列出 Z 方向的平衡方程：

$$F_{NZ} + F_{ai} = F_{gz} + F_s \quad (5)$$

设密封条与涡盘底部摩擦因数为  $\mu$ ，则密封条顶部所受摩擦力为：

$$F_f = \mu F_{Nz}$$

$$\text{即: } F_f = \mu \left( kx_0 + \frac{P_i - P_{i+1}}{2} \cdot L_u b \right) \quad (6)$$

对于密封条模型二, 将动涡盘与密封条看作整体进行受力分析, 如图 3 (b) 所示。综合考虑轴向气体力和倾覆力矩附加的轴向作用力, 得出轴向力为:

$$F = F_a + M_m / R \quad (7)$$

式中:  $F_a$  为轴向气体力;  $M_m$  为倾覆力矩;  $R$  为倾覆力矩作用点离动涡盘中心的距离。

设动涡盘的直径为  $D$ , 背压腔内气体压力为  $p(\theta)$ , 则动涡盘受到背压腔内气体的轴向气体平衡力  $F_b$  为:

$$F_b(\theta) = \frac{\pi}{4} D^2 p(\theta) \quad (8)$$

由 Z 方向的平衡方程:

$$F_b - F = 0 \quad (9)$$

密封条端面长期与涡盘底平面摩擦, 使密封条产生磨损。若表面磨损而引起的压力重新分布忽略不计, 则密封条端面磨损量可用下式计算:

$$U = Kp(x)d(x) \quad (10)$$

式中:  $U$  为线性磨损量 (mm),  $K$  为磨损系数 ( $\text{Pa}^{-1}$ ),  $p(x)$  为任一点的工作压力 (Pa),  $d(x)$  为摩擦路径 (mm)。

### 3.3 分析与结论

(1) 保证密封条正常工作:

对于模型一, 涡盘底部支持力  $F_{Nz}$  应满足条件:

$$F_{Nz, \max} = \frac{P_i - P_{i+1}}{2} \cdot L_u b + kx_0 \quad (11)$$

对于模型二, 轴向气体平衡力满足条件:

$$F_{b, \min} \geq F_{a, \max} + M_{m, \max} / R \quad (12)$$

(2) 密封条端面磨损量较大时, 密封条凸出涡

旋齿端面高度将减小。模型一中设置弹簧可确保密封条运行良好, 延长密封条检修周期, 具有一定的经济效益。模型二需要经常检修, 以保证良好的密封效果。

(3) 在压差  $\Delta p$  一定的情况下, 模型一中决定密封条与涡盘底部摩擦力大小的因素很多, 有涡旋线的基本参数、密封条宽度、弹簧的选取等。密封条紧贴在动静盘底平面并产生相对滑动摩擦, 轴向支反力太大使密封条产生的摩擦损失较大; 相反, 密封间隙增大导致通过轴向间隙的泄漏量增大。背压腔的合理设计直接影响到模型二的密封效果。

### 4 结论

(1) 对于无油润滑涡旋压缩机, 在涡旋齿端面设置由自润滑材料制成的密封条, 不但可以阻止通过轴向间隙的径向泄漏, 而且降低了涡旋齿与涡盘底部摩擦功率损失。

(2) 密封条的设计应综合考虑材料和结构模型两个方面, 这将决定涡旋齿端面密封的效果。

(3) 通过对密封条两种结构模型的研究, 可以优化密封条有关的参数, 进而在保证密封效果的基础上降低摩擦损失, 这为设计高效的无油润滑涡旋压缩机提供了理论依据。

### 参考文献

- [1] 朱圣东, 等. 无油润滑压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 87-124.
- [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: 308-327.
- [3] 李连生. 涡旋压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 126-158.

## 第十一届全国耐磨材料大会征文通知

中国金属学会耐磨材料学术委员会主办的第十一届全国耐磨材料大会将于 2006 年 10 月在安徽宁国市召开。征文范围为金属、无机非金属、高分子耐磨材料研究、开发与应用; 耐磨复合材料、耐磨表面技术研究、开发与应用; 磨损失效分析、磨损机理及磨损测试技术研究; 耐磨材料新技术、新工艺的开发及推广应用; 大中型耐磨铸件凝固过程及耐磨材料研究的计算机模拟; 典型耐磨件生产及管理 & 经验介绍。论文作者请于 2006 年 3 月 30 日前将论文打印稿及电子文档光盘挂号寄到学会暨大会秘书处, 或将电子文档通过电子邮件发送学会暨大会秘书处。会议论文集不收取版面费亦不付稿酬。论文集中的大部分优秀论文经本人同意将由学会推荐给有关核心期刊正刊分期正式刊出, 正式刊出的论文版面费和稿酬将由期刊社决定。凡已正式发表的论文请勿投寄, 切忌一稿两投。来稿一律不退稿, 请作者自留底稿。欢迎各大专院校、科研单位、生

产部门、用户单位踊跃投稿。

除了学术交流外, 会议还将举行技术论坛, 企业介绍, 耐磨材料产品、技术, 生产设备、仪器、仪表、原辅材料等的展示活动。现同时征集耐磨材料产品、生产企业、研究单位、测试仪器仪表、生产设备广告及展示活动预定。欢迎各企、事业单位就以上事宜与中国金属学会耐磨材料学术委员会暨全国耐磨材料大会秘书处联系。

有关本学会的信息可浏览上级学会中国金属学会特殊钢分会主页, 网址是: <http://www.c-sss.org.cn>.

地址: 北京学院路丁 11 号中国矿业大学 (北京) 机电学院材料系 邮政编码: 100083

联系人 (手机): 赵会友 (13651189007), 马向东 (13611391679), 安瑞琴 (13520930238)

电话: (010) 62331241 E-mail: zhy1958@sina.com