

⑧  
32-34

表 6 某些机械密封副材料的耐热冲击系数

材 料	$Th \cdot SP = \lambda \sigma_s / \alpha E$ (kW/m)	材 料	$Th \cdot SP$ (kW/m)
氧化铝(99% $Al_2O_3$ )	2.8	成型碳石墨	3~17
碳化钨(7%Co)	71.7	浸渍碳石墨(巴氏合金)	35
碳化硅(常压烧结)	46.8	浸渍碳石墨(高温处理)	27
氮化硅(常压烧结)	25	石墨	80~170

## 网状阀运动元件弹性变形分析

西安交通大学 潘树林 林霖 束鹏程

TH134

A

**摘 要** 采用有限元法,求得网状阀缓冲片在弹簧力作用下的静态弹性变形;把网状阀阀片工作过程当作准静态过程,采用有限元法,求得阀片工作过程中,在弹簧力及气流推力作用下的弹性变形。

**关键词** 网状阀 缓冲片 阀片 静态 准静态 有限元法 弹性变形

运动元件

### 1 引言

往复式压缩机有摩擦带缓冲片网状阀,其运动元件指的是阀片与缓冲片,如图1所示。以往分析网状阀的运动规律时,阀片与缓冲片一般当作刚体考虑,不考虑它们的弹性变形。很显然,网状阀片及缓冲片厚度较小、直径较大、阀片及缓冲片上筋板较小且数目也少时,缓冲片处于静止状态时,在弹簧力作用下存在较大的弹性变形,导致阀片与缓冲片提前碰撞;阀片工作过程中,在气流推力及弹簧力作用下也有较大的弹性变形,导致气阀的有效流通面积、阀片所受气流推力发生变化,同时导致网状阀片与升程限制器无法完全贴合,从而影响阀片的运动规律及气阀的性能。

由于阀片及缓冲片几何形状及载荷分布均很复杂,无法用解析法求得其弹性变形,因此本文采用有限元法求得缓冲片在弹簧力作用下的静态弹性变形,同时把阀片工作过程当作准静态过程,采用有限元法,求得阀片工作过程中,在弹

簧力及气流推力作用下的弹性变形。

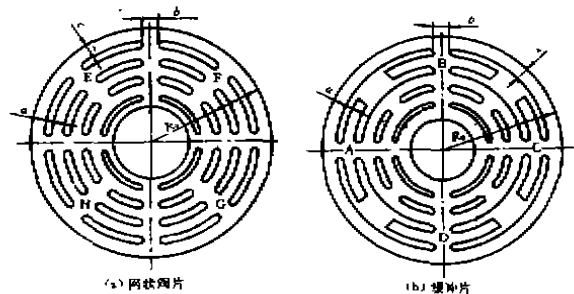


图 1

### 2 平板单元

由于阀片、缓冲片的厚度  $h$  与图1所示筋板的宽度  $a$  之比往往较大,即大于  $1/5^{[1]}$ ,因此分析阀片、缓冲片的变形时,必须考虑横向剪切变形的影响。本文采用由亨奇理论构造的考虑横向剪切变形影响的平板弯曲单元——8节点四边形等参数板单元<sup>[1]</sup>,如图2所示。每个节点有三个广义位移分量  $W$ 、 $\theta_x$  和  $\theta_y$ ,它们分别表示法线

中点的挠度、法线绕  $x$  轴转角和绕  $y$  轴的转角。

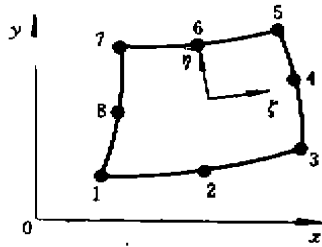


图 2 8 节点等参数板单元

8 节点四边形等参数板单元适合于曲边界, 同时它不仅对中厚板, 而且对薄板都能得到高精度的结果<sup>[1]</sup>。

### 3 缓冲片静态弹性变形分析

图 1(b) 所示缓冲片中, A、B、C、D 处压有弹簧, 缓冲片最内圈支承在导向块台阶上, 考虑到缓冲片几何形状、受力及边界条件的对称性, 故取缓冲片 1/4 作为分析对象, 网格划分情况如图 3, 共 37 个单元, 176 个节点。

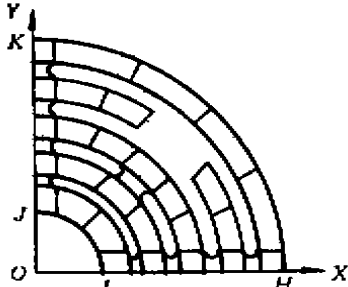


图 3 缓冲片离散网格

缓冲片做有限元划分后, 可得如下平衡方程<sup>[2]</sup>:

$$[K][\delta]=[R] \quad (1)$$

式中  $[K]$ ——广义刚度矩阵

$[\delta]$ ——广义位移矩阵

$[R]$ ——广义力矩阵

缓冲片所受弹簧力可近似为 A、B、C、D 处单元所受均布弹簧力。由于对称关系, 图 3 中边界 HI 上节点  $\theta_x=0$ , 边界 JK 上节点  $\theta_y=0$ , 由于缓冲片最内圈支承在导向块台阶上, 故边界 IJ

上节点挠度  $W$  可近似为零。缓冲片重力对变形影响很小, 故忽略。由式(1)及以上边界条件可求得缓冲片在弹簧力作用下各点的静态弹性变形。

当图 1(b) 所示缓冲片主要几何参数为:  $h=1.2\text{mm}$ ,  $a=5\text{mm}$ , 筋板长  $b=10\text{mm}$ , 最大半径  $R_0=77.5\text{mm}$ , 环宽  $C=7.5\text{mm}$ , 缓冲片所压单个弹簧的预紧力  $F_{OH}=2\text{N}$  时, 通过编程计算<sup>[2]</sup>, 可得缓冲片最大变形发生在图 3 中 H、K 处, 最大变形  $W_{\max}=-0.128\text{mm}$ 。边界 HI 的变形曲线如图 4。

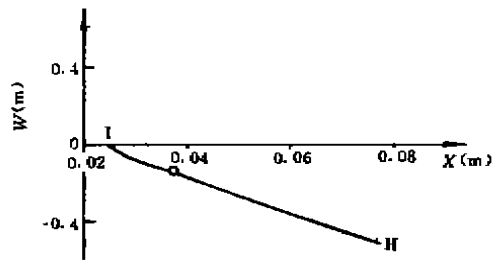


图 4 缓冲片变形曲线

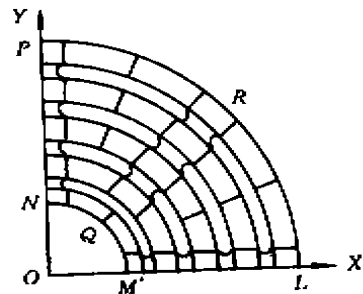


图 5 阀片离散网格

### 4 阀片准静态弹性变形分析

由于阀片的固有频率远远大于压缩机的转速, 因此分析阀片开启与关闭过程中的弹性变形问题, 可当作是准静态问题。也就是说, 阀片开启与关闭过程中, 阀片所受弹簧力  $f_s(t)$  及气流推力  $f_g(t)$  随时间变化, 但分析某一时刻  $t_0$  阀片的弹性变形时, 把阀片当作受弹簧力  $f_s(t_0)$  与气流推力  $f_g(t_0)$  作用的静态问题。由于阀片开启与关闭过程中, 阀片的加速度很大, 因此必须考虑惯

性力对弹性变形的影响。

图1(a)所示网状阀片中,E、F、G、H处压有弹簧,阀片在开启与关闭过程中,受到弹簧力及气流推力作用,考虑到阀片几何形状、受力状况的对称性,故取阀片1/4作为分析对象,网格划分情况如图5,共41个单元,187个节点。

阀片经有限元划分后,可得如下运动平衡方程:

$$[M][\delta] + [K][\delta] = [R] \quad (2)$$

式中  $[M]$ ——广义质量矩阵

阀片所受气流推力可近似为沿整个阀片的均布力,阀片所受弹簧力可近似为E、F、G、H处单元所受均布弹簧力。

求阀片广义质量矩阵时,不考虑阀片弹性位移绕X轴及Y轴的转动惯性,同时把广义质量矩阵当作集中质量矩阵处理<sup>[2]</sup>。

由于阀片的刚体位移远大于阀片的弹性位移,因此阀片各点的加速度 $\delta$ 可近似为阀片的刚体加速度 $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{f_g - f_s}{m_v} \quad (3)$$

式中  $m_v$ ——阀片的质量

因此式(2)可写为:

$$[K][\delta] = [R] - 2[M] \quad (4)$$

由于对称关系,图5中边界LM上节点 $\theta_x = 0$ ,边界NP上节点 $\theta_y = 0$ 。但即使加上以上边界条件,由于阀片存在刚体位移,方程(4)仍未有解。为求得阀片的弹性位移,需施加如下约束以消除阀片的刚体自由度<sup>[3]</sup>。

$$[\emptyset][M][\delta] = 0 \quad (5)$$

式中  $[\emptyset]$ ——阀片的刚体振型,对于阀片的平动, $[\emptyset]$ 内各位移 $W$ ,均为1<sup>[3]</sup>

由方程(4)、边界条件及约束(5),便可求得阀片开启与关闭过程中,阀片各点的弹性位移。

当图1(a)所示阀片主要几何参数为: $h =$

1.2mm,  $a = 5\text{mm}$ ,  $b = 10\text{mm}$ ,  $R_0 = 77.5\text{mm}$ ,  $c = 7.5\text{mm}$ , 阀片所压单个弹簧的刚性系数为  $k_s = 1800\text{N/m}$ , 预压缩量  $H_0 = 4\text{mm}$ , 阀片位移  $S = 1\text{mm}$ , 阀片前后压差  $\Delta P = 4 \times 10^4 \text{Pa}$ , 推力系数  $\beta = 0.73$  时,通过编程计算,可得阀片各点的弹性位移,最大弹性位移  $W$  发生在图5中Q、R处, Q、R处的弹性位移分别为  $W_Q = 0.0355\text{mm}$ ,  $W_R = -0.0375\text{mm}$ , 阀片的最大变形  $W_0 = W_Q - W_R = 0.073\text{mm}$ , 图5中边界LM的变形如图6。

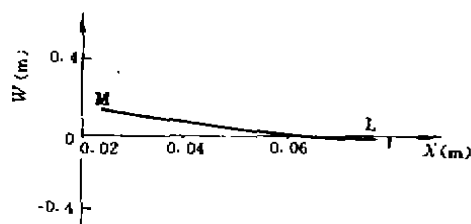


图6 阀片变形曲线

## 5 结束语

网状阀设计时,我们希望缓冲片的静态弹性变形及阀片工作过程中的弹性变形远远小于气阀的行程。当采用上述有限元法求得的缓冲片静态弹性变形及阀片工作过程中的弹性变形过大时,可采用如下方法减小变形:如增大阀片、缓冲片的厚度,缓冲片由1片增加到2片,增大阀片、缓冲片筋的数目及长度 $b$ ,同时合理调整筋及弹簧的位置等。

### 参考文献

- 1 何福保,沈亚鹏. 板壳理论. 西安交通大学出版社,1993
- 2 刘北辰. 工程计算力学理论与应用. 机械工业出版社,1994
- 3 倪振华. 振动力学. 西安交通大学出版社,1989
- 4 赵宗艾等. 电场作用下的十字流膜滤初探. 第四届全国非均相分离学术交流会论文集,1994
- 5 Schona G. et al. J. Mem. Sci., 1983; (16): 37

(上接第14页) AICHEJ, 1977; 23(11): 851

- 3 Radovich John M. Steady-State Modeling of Electro-Ultrafiltration at Constant Concentration. Sep. Sci. and Tech. 1985; (20): 315