

包装透气阀弹性阀片弯曲变形分析

王真, 陆佳平

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 将透气阀圆形弹性阀片的应用结构简化为了环形结构, 建立了阀片受均布载荷时的力学模型, 并研究了阀片的弯曲变形。运用弹性力学原理建立了弹性阀片弯曲变形的微分方程, 利用弹性阀片的边界条件, 推导出了弹性阀片受均布载荷时的变形解析式, 并引入了弯曲变形系数以简化其表达式, 为透气阀的设计和包装应用奠定基础。

关键词: 包装透气阀; 弹性阀片; 弯曲变形; 力学分析

中图分类号: TB486⁺.03; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)17-0064-03

Bending Deformation Analysis of Elastic Slice of Degassing Valve for Packaging

WANG Zhen, LU Jia-ping

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The circular elastic slice of degassing valve was simplified as ring mechanics and the mechanic model of the slice under uniformly distributed load was established to investigate its deformation. The differential equation of elastic slice's deformation was established based on flexibility mechanics. The analytical formula for the elastic slice deformation was determined utilizing boundary conditions. The bending deformation coefficient (G_r) was introduced. The purpose was to provide reference for design and packaging application of degassing valve.

Key words: packaging degassing valve; elastic slice; deformation; mechanic analysis

透气阀通常密封联接于包装袋等容器上, 构成透气阀袋包装, 用于平衡包装袋内外气体压差、及时自动排除包装袋内的过量气体、防止外部气体进入, 其中透气阀的弹性阀片是实现透气阀单向排气的关键。透气阀阀片的材料特性、厚度及长度对透气阀袋的排气功能有着重要的影响, 当包装袋内外气体压差达到一定数值时, 要求阀片能自动灵活打开, 并溢出气体。根据透气阀阀片的受力情况和结构特点及阀片所受约束条件, 求解阀片弯曲变形的方程, 推导阀片受均布载荷时的变形量, 并得到最小开阀压力, 为透气阀设计和包装工艺研究提供基础。

1 阀片力学模型的建立

透气阀主体通常由阀体、阀座和圆形弹性阀片构

成, 阀片安装于阀体与阀座之间, 并由阀体上壁中的凸出部分压住, 透气阀结构见图 1。

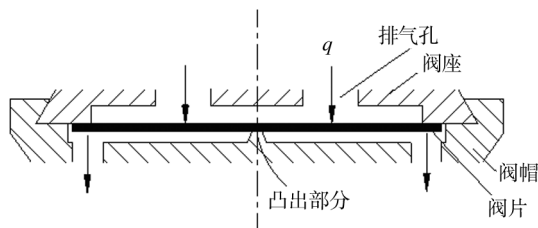


图 1 透气阀的结构示意

Fig. 1 Structure diagram of the degassing valve

阀片的周边部分搁置在阀座的平环形壁上, 壁上可涂有油封层, 以便提供更好的密封。由于包装袋内外气体压差使阀片变形, 气体从变形后的阀片与阀体之间产生的间隙中流出^[1]。当包装袋内外压差恢复到一定数值时, 阀片在自身弹性性能的作用下恢复到

收稿日期: 2011-05-31

作者简介: 王真(1987—), 女, 湖南人, 江南大学硕士生, 主攻食品包装。

通讯作者: 陆佳平(1964—), 男, 江苏太仓人, 江南大学副教授、硕士生导师, 主要从事包装工程技术研究。

原状形成密封,防止外界气体进入包装袋内,阀片的开度随着气体压差的变化而变化。

根据透气阀工作原理,透气阀袋内气体通过进气孔进入^[2],气体产生的压力均匀分布在阀片的表面,可以将透气阀阀片看作中心处固定、外端自由的环形弹性薄片。由于阀片受到的粘滞力相对于气体压力来说较小,故暂不考虑,从而建立阀片简化力学模型,见图2。其中: q 为阀片所受的均布载荷; h 为阀片厚

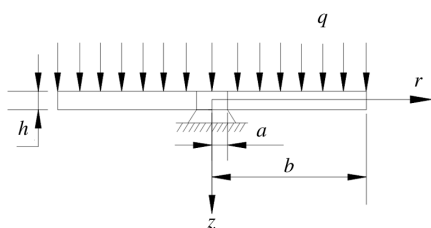


图2 弹性阀片简化力学模型

Fig. 2 The simplified mechanical model of elasticity slice

度; a 为阀片内半径; b 为阀片外半径。

2 阀片弯曲变形问题的求解

2.1 阀片弯曲变形曲线方程的推导

阀片的弯曲变形量直接影响透气阀的透气量,影响透气阀袋的性能,因此阀片弯曲变形量的精确分析和计算对透气阀的设计是非常重要的。

为了对阀片的弯曲变形量进行分析计算,以透气阀阀片的中心为原点,以固定端边线的中垂线为 z 轴,以简支端线为 r 轴,建立直角坐标系。由薄板力学可知,极坐标下薄板弯曲弹性曲面平衡微分方程为:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} \quad (1)$$

式中: D 为薄板的弯曲刚度; w 为对应阀片半径处的挠曲变形量; q 为横向载荷。当圆形薄板的边界是绕 z 轴对称时,所受的横向载荷也是绕 z 轴对称的, r 为阀片任意处半径,即载荷 q 只是 r 的函数 $q(r)$,则该薄板的弹性曲面也是绕 z 轴对称的(w 只是 r 的函数);当透气阀阀片受到面均布载荷 q 作用时,阀片将弯曲变形,不同位置 r 处的弯曲变形量的大小不同,因此阀片将弯曲成一个曲面,在中线上就形成一个弯曲变形曲线(挠曲线),其弹性曲面的微分方程可以简化为以下形式^[3]:

$$D \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = q(r) \quad (2)$$

对式(2)求解,可得:

$$w = C_1 \ln r + C_2 r^2 \ln r + C_3 r^2 + C_4 + w^* \quad (3)$$

常数 $C_1 \sim C_4$ 由弹性阀片的边界条件决定,因为 q 为均布载荷,求得特解 $w^* = \frac{qr^4}{64D}$,则微分方程的特解为^[4]:

$$w = C_1 \ln r + C_2 r^2 \ln r + C_3 r^2 + C_4 + \frac{qr^4}{64D} \quad (4)$$

由给定的力学模型可知,弹性阀片的内圆是固定约束,外圆是自由约束,边界条件可表示为:

$$\text{当 } r=a \text{ 时, } w=0; \frac{\partial w}{\partial r}=0$$

$$\text{当 } r=b \text{ 时, } M_r = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0; Q_r = -D \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0$$

其中: M_r 为弹性阀片所受的弯矩; Q_r 为阀片的总分布剪力。

由4个边界条件可得:

$$C_1 \ln a + C_2 a^2 \ln a + C_3 a^2 + C_4 + \frac{qa^4}{64D} = 0 \quad (5)$$

$$C_1 \frac{1}{a} + C_2 (2a \ln a + a) + 2C_3 a + \frac{qa^4}{16D} = 0 \quad (6)$$

$$C_1 \frac{\mu-1}{b^2} + C_2 [2(\mu+1) \ln b + \mu+3] + 2(\mu+1)C_3 + \frac{(\mu+3)qb^2}{16D} = 0 \quad (7)$$

$$C_2 \frac{4}{b} + \frac{q}{2D} b = 0 \quad (8)$$

由于 $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$,其中: E 为弹性模量; μ 为泊松比。令 $\ln a = \ln 0.5 = -0.69$, $\ln b = \ln 5 = 1.6$,即解得阀片的弯曲变形方程为:

$$w = \frac{q}{Eh^3} [-34.3 \ln r - 28.8 r^2 \ln r + 63.0 r^2 + 0.14 r^4 - 43.7] \quad (9)$$

2.2 阀片最大弯曲变形量及开阀压力

阀片的最大弯曲变形量,即为阀片在自由端的变形量。将 $r=b$ 代入式(9)中,可以得到阀片的最大弯曲变形量:

$$w(b) = \frac{q}{Eh^3} [-34.3 \ln b - 28.8 b^2 \ln b + 63.0 b^2 + 0.14 b^4 - 43.7]$$

当阀片的最大弯曲变形量达到阀片厚度 h 时,透

气阀开阀^[6]。利用透气阀阀片的弯曲变形式(10),即令 $w(b)=h$ 时,可计算得到透气阀的开阀压力为 q_k 。

3 阀片弯曲变形系数的确定

求得的阀片弯曲变形方程解析式比较复杂,而且还是一个关于阀片位置半径的函数,很难对阀片进行实际设计计算。对阀片的弯曲变形方程的解析式进行恒等变形,将各项都化为公共因子为 q/Eh^3 的表达式,将阀片的半径归到一个常数项系数 G_r 中。令 $G_r = -34.3 \ln b - 28.8b^2 \ln b + 63.0b^2 + 0.14b^4 - 43.7$, 对于给定位置 r 处的弯曲变形的通解式(9)可以变为:

$$w(x) = G_r \frac{q}{Eh^3} \quad (11)$$

式中: G_r 称为弯曲变形系数,是弹性阀片的特性系数^[6-8],它与阀片的厚度 h ,弹性模量 E 和所受载荷 q 无关,只与所求挠度相对应的弹性阀片的半径 r 有关。当透气阀结构确定后,这些参数即为常数,为分析载荷值 q 、材料弹性模量 E 以及阀片厚度 h 与挠度 w 的关系提供了便利条件。弯曲变形系数 G_r 的物理意义是单位厚度的阀片,在单位压力作用下,在半径 r 处的变形能力,单位为 mm^4 。

设透气阀弹性阀片的相关参数:阀片材料的弹性模量 $E=0.008 \text{ GPa}$;泊松比 $\mu=0.47$;阀片被凸出部分压住的内半径 $a=0.5 \text{ mm}$;阀片外半径 $b=5 \text{ mm}$;阀片厚度 $h=0.6 \text{ mm}$ 。对于给定半径、弹性模量和厚度的阀片,弯曲变形系数 G_r 随半径 r 的变形曲线见图3,所求得的 G_r 数值见表1。

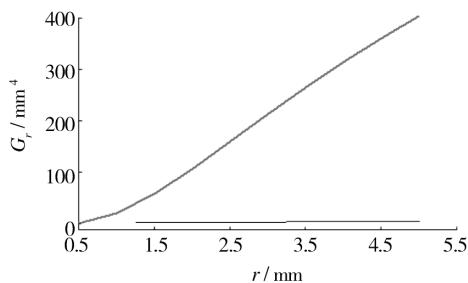


图3 位置半径 r 对弯曲变形系数 G_r 的影响

Fig. 3 Influence of radius on bending deformation coefficient

G_r 是弹性阀片位置半径 r 的函数,可求出在均布载荷下任意位置半径 r 处弹性阀片的弯曲变形量 w 。 G_r 随阀片位置半径的变化曲线恰好是该阀片弯曲变

表1 不同阀片位置半径 r 下弯曲变形系数 G_r 的值

Tab. 1 Bending deformation coefficient G_r values with different radius r of slice

位置半径 r/mm	0.5	1	2	3	4	5
G_r/mm^4	0	19.4	106.9	212.2	313.8	404.8

形的形状,因此 G_r 对于不同结构尺寸的阀片的优化设计、特性分析,具有广泛的适用性。

4 结语

针对透气阀的常见结构形式,建立了圆形弹性阀片受均布载荷时的力学模型;运用弹性力学原理和边界条件,推导了弹性阀片受均布载荷时的变形解析式^[9];在此基础上分析了阀片的开阀压力及阀片打开后的流量平衡,从而验证透气阀能及时排出包装袋内气体。引入变形系数 G_r ,简化了弹性阀片解析式的表达形式,得到阀片弯曲变形的形状,为透气阀的理论分析和设计及实际应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] GOGLIO F, BOTTONI G. Selective Degassing Valve for Containers of Aromatic or Odorous Products, Such as Coffee and the Like; United States, 468332[P]. 2002-10-22.
- [2] 胡红艳, 卢立新. 微孔膜包装内外气体交换的理论研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 6-8.
- [3] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [4] 杨桂通. 弹塑性力学引论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] 周长城, 顾亮, 陈轶杰. 油气弹簧节流阀片设计与研究[J]. 机械设计, 2006, 23(6): 21-22.
- [6] 周长城, 张绍阁, 顾亮. 环形弹性阀片弯曲变形曲面方程及其解[J]. 山东理工大学学报, 2006, 20(4): 8-9.
- [7] HIROTA K, MORI Y. Precision Small Angle Bending of Sheet Metals Using Shear Deformation[J]. Solid Mechanics and Material Engineering, 2005, 48(4): 352-357.
- [8] 陈轶杰, 顾亮, 管继富. 减振装置节流阀片均布载荷变形解析计算[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(9): 988-990.
- [9] 魏春梅, 周锦林, 柯晖, 等. 瓦楞机系统的弯曲振动特性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 31-33.