

文章编号: 1002-5855 (2006) 02-0025-04

## 基于有限元的浮动球阀密封比压分析

俞树荣, 高扬, 张希恒

(兰州理工大学 石油化工学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要** 以浮动球阀的密封机理为基础, 以有限元工程分析软件作为工具, 论述了浮动球阀密封副密封比压在轴向、径向和周向上分布特性, 分析了密封面上密封比压的分布规律, 并通过实例比较了理论值与有限元分析值之间的异同, 得出浮动球阀密封比压的分布规律。

**关键词** 浮动球阀; 密封比压; 有限元分析; 模拟

**中图分类号**: TH134 **文献标识码**: A

### Sealing pressure analysis of float ball-valve based on FEA

YU Shu-rong, GAO Yang, ZHANG Xi-heng

(College of Petrochemical Engineering Technology, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract**: This text take floating the ball valve to seal completely the mechanism as the foundation, with the finite element analytical software and procedure of VBs of an engineering be the tool, discuss the floating ball valve to seal completely vice - seal completely the ratio to press at stalk to, path to and the week heading up to distribute the characteristic, analyzing seal completely to face up seal completely the ratio press of distribute the regulation, and passed imitate experiment compare the different and similar between the theories value and an analytical value, get distribute the regulation of floating ball valve seal completely the ratio press.

**Key words**: float ball valve; seals completely the ratio to press; finite element analysis; emulation

#### 1 概述

密封性能是评价阀门的一项最重要的指标, 即是指密封面上的密封比压。浮动球阀的密封比压在实际的工程中采用近似公式计算, 由于公式是由密封面平均直径得出的平均密封比压, 不能反映密封面的密封比压分布情况, 而如果用数学分析方法分析密封面上的密封比压, 又太繁琐而不易得出结果。随着有限元分析技术的开发与拓展, 对机械产品的设计与分析也能够进一步的深入, 本文用有限元软件计算了模拟工况下浮动球阀的密封比压, 应用 VB 程序提取密封比压数据进行分析, 并与理论的计算公式进行了对比。

#### 2 浮动球阀的密封机理

浮动球阀关闭时 (图 1), 球体支承在阀座上, 介质力作用在以密封面外径  $D_{MW}$  为边界的球体面上, 使球体在流体流动方向产生位移, 从而使它与

阀门的出口阀座密封面更紧密地接触, 即在该密封面上的比压增大, 形成密封。实际分析时近似认为有效介质力是作用在球体上的  $D_{MP}$  (阀座密封面平均直径) 范围内。

由于介质的渗透和毛细管等物理现象, 介质将进入到密封面之间, 但不会从密封面外缘泄漏, 在设计计算中取密封面的平均直径  $D_{mp}$  作为介质终止的界限。从而推导出浮动球阀的密封比压  $q$  的近似计算公式为<sup>[1]</sup>

$$q = \frac{N}{F_{MN}} = \frac{(D_{MW} + D_{MN})^2 p}{16(l_1^2 - l_2^2)} = \frac{(D_{MW} + D_{MN})}{4(D_{MW} - D_{MN})} \quad (1)$$

式中  $q$  ——密封比压, MPa

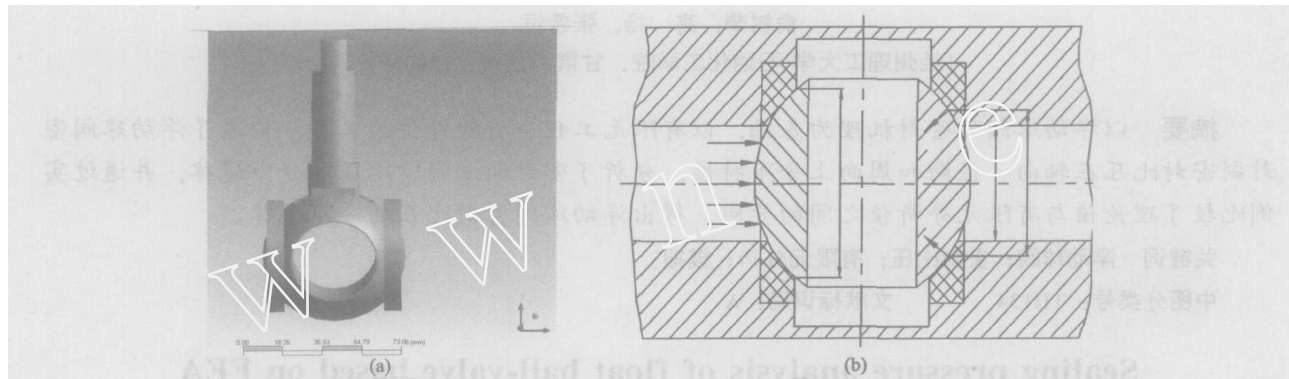
$N$  ——球体对密封面的法向力, N

$F_{MN}$  ——密封环带面积,  $\text{mm}^2$

作者简介: 俞树荣 (1962-), 男, 甘肃兰州人, 教授, 主要研究方向为化工设备与阀门的设计开发。

$D_{MW}$  —— 阀座密封面外径, mm  
 $D_{MN}$  —— 阀座密封面内径, mm  
 $p$  —— 介质工作压力, MPa  
 $l_1$ 、 $l_2$  —— 球体中心至密封面的距离, mm

由公式 (1) 可知, 浮动球阀是依靠工作介质压力来实现密封要求的, 压力通过关闭件全部传给了出口端的密封副。



(a) 球体与阀座组合结构 (b) 球体受力分析

图 1 浮动球阀

### 3 浮动球阀的密封比压有限元分析

#### 3.1 浮动球阀的三维建模与分析

用有限元软件 ANSYS 做出浮动球阀的三维模型图, 设置边界条件和受力模型, 然后运算, 得出密封比压的有限元节点数值。其生成的密封面上密封比压分布 (图 2) 可以看出, 在密封环的两侧边缘, 密封比压比较大, 而中部相对较小, 同时, 沿环向密封比压的分布变化很小, 整体上密封环上的密封比压分布十分有规律。由于流向为沿 Z 轴正向流动, 球体与进口阀座之间存在间隙, 出口阀座被球体压紧, 球阀的密封基本上由出口阀座保证。由此图的分布现象可以得出, 密封比压的理论值应该接近密封面中心直径所对应的密封比压值。

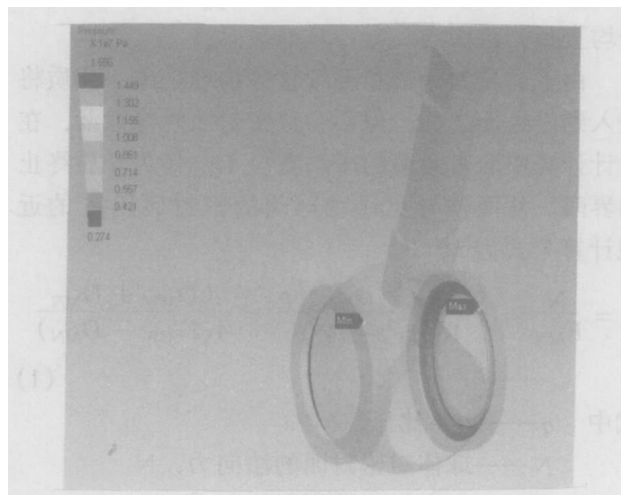


图 2 密封比压分布

#### 3.2 密封比压分析

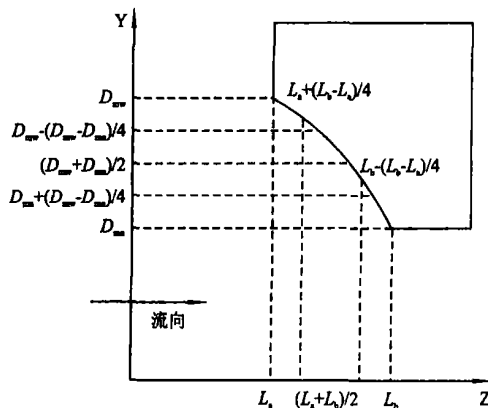


图 3 阀座位置及流向

设置阀座的各个坐标位置如图 3 所示, 流向为 Z 轴正向, 故此为出口阀座的二维坐标图。流道 Z 轴方向上, 划分成 4 等分, 断面坐标点分别是  $L_a$  点、 $L_a + (L_b - L_a) / 2$  点、 $(L_a + L_b) / 2$  点、 $L_b - (L_b - L_a) / 2$  点和  $L_b$  点; 密封面环向上, 依次坐标点为  $D_{mw}$  点、 $D_{mw} - (D_{mw} - D_{mn}) / 2$  点、 $(D_{mw} + D_{mn}) / 2$  点、 $D_{mn} + (D_{mw} - D_{mn}) / 2$  点和  $D_{mn}$  点。

把从 ANSYS 中生成的密封比压 Excel 数据表导入比压提取程序中, 提取节点密封比压值并进行计算, 提取密封比压的流程图如图 4 所示。

从程序中得出密封环面上的密封比压分布变化如图 5 (轴向变化图) 和图 6 (径向变化图) 所示。密封环面上沿轴向和径向密封比压的变化大体相同, 在两侧密封比压值很大, 而在中部数值相对较

小，整体呈马鞍型分布。在轴向上，密封比压沿轴向中心面呈中心对称分布，在中心面上密封比压最小，而在两端密封比压最大。在径向上，密封比压也在径向中心处最小，而在密封面内径处密封比压最大。

在周向上，如图7所示，把圆周沿环向划分成三部分，每部分取一个环面，分别是密封面外径、内径与中心环面，在每环上取六个点，这里分别取0°、60°、120°、180°、240°、300°的点，可以看出，在密封面内外径处，周向的密封比压分布曲线变化比较大，密封比压的数值总体上比较大。而在密封面中心部分，密封比压的分布曲线变化很小，总体恒定在一定的数值范围内，且数值比较小。

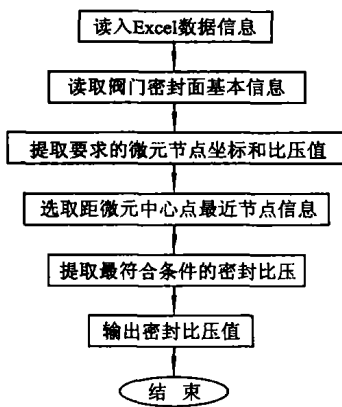


图4 密封比压提取流程

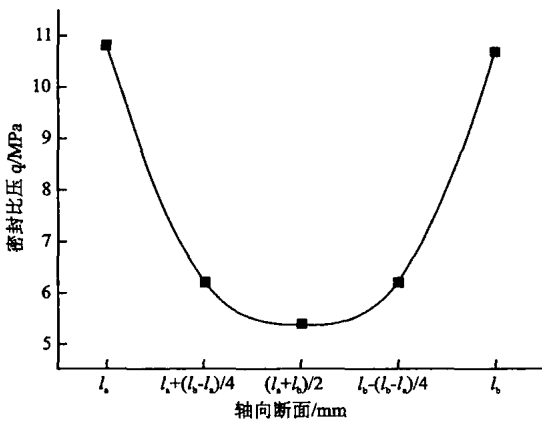


图5 软密封材料密封环上轴向密封比压变化

通过图5、图6和图7可以看到，在密封面的轴向和径向上，密封比压分布规律是基本相同的，两头较大而中间较小。在周向上，越靠近密封面中部，密封比压分布越均匀，越靠近端部，密封比压分布区先起伏越大，但整体数值在一定的范围内。

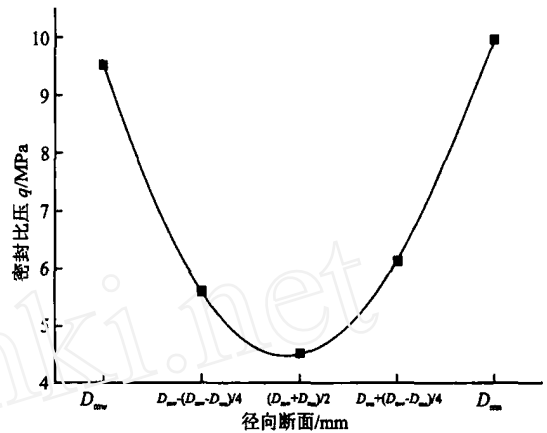
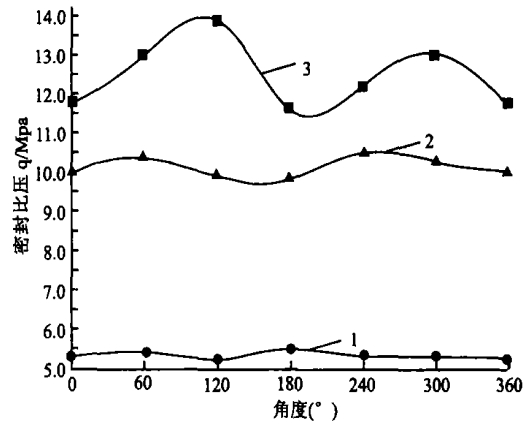


图6 软密封材料密封环上径向密封比压变化



1— $Z = (L_a + L_b) / 2, R = (D_{mw} + D_{mn}) / 2$  2— $Z = L_b, R = D_{mn}$  3— $Z = L_a, R = D_{mw}$

图7 软密封材料密封环上周向密封比压变化

由密封材料聚四氟乙烯的特性可知，在密封过程中，由于阀体与密封环外径有很小间隙，而阀体与密封环端面相对固定，不能运动，故经过压缩后，密封环的内径轴向相对于中部变形裕量小，受到的挤压力较大；密封环的径向相对于中部变形裕量大，受到的挤压力也相对较小。另外，虽然球体与阀座接触，但由于毛细现象而有流体介质存在，当球体沿流向有相对运动时，球体与阀座更加紧密接触，从密封面边缘到中部的流体介质越来越少，所以，密封面边缘处在介质与球体的双重作用下，受力略大于密封面中部。因此，在密封面轴向和径向上，密封比压呈倒抛物线分布。周向上，每个环面都受力相同，整体曲线变化不大。在边缘环面，由于受预紧力、介质施加力和金属球体综合作用，故产生有波动的变化曲线，尤其在密封面外径处影响更大。所以密封面的密封比压应该在内外径处最

大, 外径处略大于中部。由于毛细现象的影响, 取密封面中部的密封比压作为整个浮动球阀的密封比压是合理的, 浮动球阀的密封比压理论计算公式按密封面平均直径求解得出的值也是可信的。

#### 4 实例分析

以 DN40 的浮动球阀为例, 公称压力为 PN1.6 MPa, 球体设计半径为 33 mm, 密封环内外半径分别为  $D_{mn} = 20$  mm、 $D_{mw} = 23.6643$  mm, 密封面 Z 轴中心距分别为  $L_a = 23$  mm、 $L_b = 26.2488$  mm。密封面材料为聚四氟乙烯。密封比压的判断标准为<sup>[2]</sup>

$$q_{MF} < q < [q] \quad (2)$$

式中  $q_{MF}$  ——保证密封必需比压, MPa

$q$  ——实际比压, MPa

$[q]$  ——密封面材料的许用比压, MPa

在本例中, 必需比压为  $q_{MF} = 1.2 \times P = 1.92$  MPa, 而  $[q] = 15$  MPa (聚四氟乙烯, 密封面有滑动)。由密封比压理论公式 (1) 得出  $q = 4.766$  MPa, 满足密封面材料为聚四氟乙烯时的密封比压。

在轴向密封面断面上,  $L_a$  处、 $L_b$  处和  $(L_a + L_b) / 2$  处密封比压分别是 10.797 MPa、10.659 MPa 和 5.392 MPa, 满足标准。在径向密封面断面上,  $D_{mw}$  处、 $D_{mn}$  处和  $(D_{mw} + D_{mn}) / 2$  处密封比压分别是 9.517 MPa、9.965 MPa 和 4.506 MPa, 满足要求。在周向密封面环面上, 密封面外径处密封比压最大值是 13.905 MPa, 内径处密封比压最大值 10.491 MPa, 密封中心面处密封比压最大值为 5.465 MPa, 最小值为 5.235 MPa, 各个极值点处都满足评价标准。

由于  $(D_{mw} + D_{mn}) / 2$  处密封比压是 4.506 MPa, 而理论计算的密封比压为 4.7664 MPa, 故两者间误差为 5.46%。理论比压值相对于有限元分析值偏大。这是由于理论值取密封面平均直径计算造成的。

#### 5 结语

经有限元分析得出浮动球阀的密封比压在整个密封环面呈对称分布, 在两端值大, 在中部值小, 这是因为软密封材料受挤压变形和毛细现象造成的。浮动球阀的密封比压理论解相对于密封面上的密封比压整体而言值偏小, 这是因为密封面密封比压在中部小, 而在两端高。理论解是由密封面平均直径得出, 故其值偏小而略大于密封面中部最小值。

用有限元分析法求解浮动球阀密封面密封比压的过程虽然相对比较复杂, 但若经过合理的建立模型和设置边界条件, 然后编制程序提取数据计算, 就能够得出比较真实的密封比压值, 在工程上容易实现。

#### 参 考 文 献

- [1] 王孝天, 杨源泉, 贺友宗. 不锈钢阀门的设计与制造 [M]. 北京: 原子能出版社, 1987.
- [2] 杨源泉. 阀门设计手册 [K]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] 王加新, 印峰平, 徐明华. 球阀密封结构的分析及研究 [J]. 阀门. 2000 (6): 29 - 32.
- [4] 彭红, 程路. V 型调节球阀软密封阀座结构分析与设计 [J]. 流体机械. 1998, 28 (8): 27 - 30.
- [5] 刘后桂. 密封技术 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1983.
- [6] 高泽普, 张成旺, 史红军. 不锈钢球阀密封结构探讨 [J]. 机床与液压. 2004 (10): 195 - 197.

(收稿日期: 2006.01.05)

(上接第 16 页) (这种情况在一台泵向多用户供水时), 主路及旁路都开启, 避免用户间相互干扰。在流量  $< 30\%$  直至 0 时, 主路关闭, 旁路全开, 下游高压水快速向泵入口排放。故从主路及旁路开、关情况看, 可以是两个都关, 两个都开, 或一开一关及一关一开的状态。而开关情况都和泵的运行情况密切相关, 这是一般三通阀难以达到的。

#### 6 结语

上海科力达自控阀门有限公司结合电力行业给水系统需要, 开发了多功能泵再循环自动调节阀。

经现场使用, 该阀性能达到并超过了同类产品技术要求。该产品无需任何外加能源, 利用介质本身流量变化自动控制给水量, 自动供水或排水, 实现系统的安全可靠供水。

#### 参 考 文 献

- [1] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 陆培文. 实用阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

(收稿日期: 2006.01.08)