

文章编号: 1002-5855(2015)05-0014-04

球阀密封特性研究

张逸芳¹, 吴 斌², 王建新¹, 高峰峰¹, 刘 辉²

(1. 江苏神通阀门股份有限公司, 江苏 启东 226232; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘要 采用有限元法计算了常温下球阀的密封接触应力分布和变形情况。分析结果表明, 在球阀的密封结构设计中选用聚四氟乙烯作为阀座材料是可行的。

关键词 球阀; 接触分析; 密封; CAE

中图分类号: TH134

文献标志码: A

Study on Sealing Characteristics of Ball Valve

ZHANG Yi-fang¹, WU Bin², WANG Jian-xin¹, GAO Feng-feng¹, LIU Hui²

(1. Jiangsu Shentong Valve Co., Ltd., Qidong 226232, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The contact stress distribution and deformation on the sealing surface of ball valve was calculated by using finite element method in the paper. The results showed that, tetrafluoroethylene as the seat material in sealing structure design of ball valve is feasible.

Key words: ball valve; contact analysis; seal; CAE

1 概述

密封失效是阀门常见的失效形式之一。由于密封结构中包含复杂材料特性的密封元件, 有限元求解过程中包含复杂的非线性接触分析。密封结构在工作状态中存在不稳定工况(如温度、压力和密封介质特性)等^[1], 使采用有限元法进行密封接触分析涉及到几何非线性和材料非线性等问题。几何非线性主要体现在接触过程中接触部位的准确确定从而正确地设置接触对。材料非线性主要是指由于大多数密封件通常会采用一些具备超弹性和粘弹性的非线性材料, 如各种类型的橡胶和工程塑料等。本文以球阀为例, 对常温下球阀的密封件进行有限元接触分析, 获得其接触应力和接触变形情况, 检验校核聚四氟乙烯阀座是否符合强度要求和密封变形限制。

2 有限元建模及加载

2.1 载荷计算

在实际工况下, 球阀的球体在介质压强的作用下产生微小偏移量挤压介质出口端的阀座密封件, 使得两者密封面接触(图1)。密封件受到阀体限制产生塑性变形, 通过阀座端面将力传递到阀体, 由于阀体与外接法兰管件连接, 受到固定作用, 连接的端面产生对应的平衡, 使整体处于平衡状态。根据对

实际工况下球阀密封状态时力传递过程(图2)的分析可知, 在阀门的密封状态, 载荷即外界作用力主要包括介质压力、接触压力和端面压力。由此可知, 阀座的载荷理论值 q 主要包括介质压力、接触压力和端面压力。

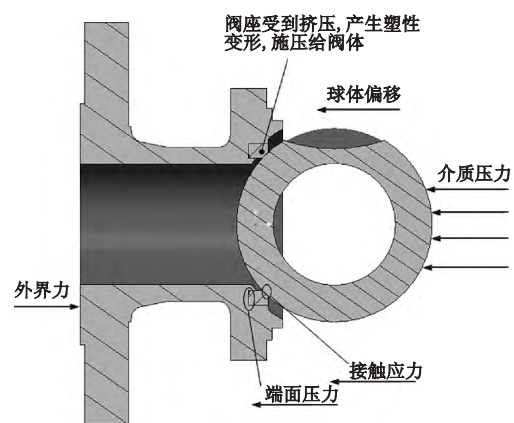


图1 阀门密封状态

$$q = \frac{(D + d)p}{4(D - d)} \quad (1)$$

式中 D ——阀座的密封面外径
 d ——阀座的密封面内径
 p ——介质工作压力

作者简介: 张逸芳(1963—), 女, 高级工程师, 从事阀门设计工作。



图2 阀门密封状态的力传递流程

根据 DN50 球阀的设计数据可知 $d = 54\text{mm}$ $D = 66\text{mm}$ $p = 2.5\text{MPa}$ 。将各数值代入式(1), 计算获得载荷的理论值 $q = 6.25\text{MPa}$ 。

2.2 材料模型

在接触分析中主要部件为球体和阀座。目前常用的阀座材料为 PTFE, 其材料力学性能较为稳定(表1)。球体常用材料为 304 不锈钢(表2)。

表1 PTFE 材料的常温(22℃)力学性能^[2-6]

技术指标	数值
材料密度(kg/m ³)	2 100 ~ 2 300
抗拉强度(MPa)	32
抗压强度(MPa)	19.52
弹性模量(GPa)	0.4
屈服强度(MPa)	18
切向模量(MPa)	120
泊松比	0.35
动摩擦系数	0.13 ~ 0.16
许用接触应力(MPa)	12

表2 304 不锈钢常温(22℃)下的力学性能^[2-9]

技术指标	数值
材料密度(kg/m ³)	7 930
弹性模量(GPa)	195
抗拉强度(MPa)	658
屈服强度(MPa)	205
泊松比	0.294

PTFE 相对于橡胶而言其塑性特征更明显, 通常呈现为双线性随动强化特征^[12-14], 而且材料特性对温度比较敏感。因此, 对于研究所用的纯 PTFE 阀座, 主要考虑其弹塑性特征, 在有限元分析中采用双线性随动强化材料模型模拟。在 ANSYS 中采用弹塑性实体模型 Visco solid 8 node plas 107 单元进行求解。定义 PTFE 材料密度为 $2\,100\text{kg/m}^3$, 弹性模量为 0.4GPa , 屈服强度为 18MPa , 切向模量为 120MPa , 泊松比为 0.35 , 取动摩擦系数为 0.15 。

由于阀体和球体均为 304 不锈钢, 在常温下其材料性能可用线弹性模型表示。在 ANSYS 中定义其材料弹性模量为 195GPa , 屈服强度为 205MPa , 密度为 $7\,930\text{kg/m}^3$, 泊松比为 0.294 。

2.3 接触关系及约束

在球阀结构中, 球体与阀座为过盈配合, 在运动过程中存在着间接性的干涉。随着介质压力的作用, 其密封中的相互接触为典型的非线性行为, 包含有高度几何非线性和接触非线性, 且属于面面接触。

此外, 从该型球阀的结构可知, 球体的两端均与阀座相接触, 可视为对称结构, 所以在有限元分析中, 可将阀座与球体抽象为轴对称问题。假设阀座作为接触体 A, 球体作为目标体 B, 接触体 A 在工作过程中承受目标体 B 传导过来的介质压力发生弹性变形, 在阀座未产生破坏前, 两者不会发生相互穿透。即在接触求解的过程中, 必须满足接触界面条件, 即不可贯入条件、法向接触力的压力条件和切向摩擦力条件, 均为不等式单边约束。

不可贯入条件为

$${}^t g_N = ({}^t X_{AP} - {}^t X_{BQ}) \cdot {}^t n_B \geq 0 \tag{2}$$

式中 ${}^t g_N$ —— t 时刻两接触点的距离

${}^t X_{AP}$ ——接触体 A 上任一点的坐标

${}^t X_{BQ}$ ——目标体 B 上与 P 点距离最近点 Q 的坐标

${}^t n_B$ ——目标体 B 在 Q 点的外法线方向, 该条件表明两接触体不能相互贯入

法向接触力为压力, 其

$$F_{BN} \leq 0 \tag{3}$$

$${}^t F_{AN} - {}^t F_{BN} \geq 0 \tag{4}$$

由力传递流程可知, 球体对阀座进行了一定的挤压, 使得阀座产生塑性变形。但是, 为了方便对阀座单个模型进行应力分析, 根据运动的相对性和力的相互作用性, 去除球体模型, 在研究过程中仅考虑阀座的受力及变形情况, 即看作是阀座在阀体的压力作用下产生了一定的位移, 从而对球体产生挤压, 形成密封, 即密封比压值就是施加在阀座端面上的载荷, 称为第一载荷条件。此外, 在球体与阀座的相对运动中, 球体与阀座仅为部分接触。因此, 在接触分析中为方便软件定义约束和接触对, 采用软件对密封件阀座进行面分割, 将其外圈与球体可能接触的部位定义为密封面, 紧挨着密封面的为内径面, 而外圆面为外径面(图3)。在接触分析中建立的接触对指的是密封面(图4)。

阀座的外径面与内径面在结构中只能存在 X 轴方向上自由度, 所以在有限元分析过程中对阀座外径面与内径面进行 Y 和 Z 轴方向上的约束, 即偏移量为 0, 称为第二约束条件。在整个密封的接触问题上, 主体是阀座与球体的密封面接触, 但根据图 4 可知, 阀座还与阀体有接触。为了保证对阀座单个模型进行应力分析, 考虑到阀体与球体的 304 材料刚度远大于阀座 PTFE 材料, 所以做出两点假设。①对阀座单个模型进行应力分析时, 设置阀座密封面为刚性面, 自由度为 0。②对接触问题进行应力

分析时,设置与阀座接触所涉及到的其他模型的面都为刚性面,自由度为0。

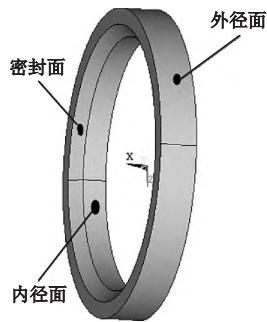


图3 阀座各部位定义

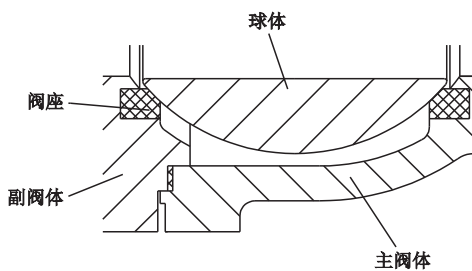


图4 球阀内密封结构的接触关系

根据对球阀整个实际工况的分析,以第一载荷条件、第二约束条件和两点假设条件为基础对阀座与球体之间的基本情况进行接触分析。

2.4 网格划分与加载

分析中,为综合平衡精度和效率,对接触面网格进行细化,设置网格为0.001m,对整体模型的网格设置为0.004m,均采用自由网格划分,共生成1349个节点、152个单元(图5)。然后对阀座模型端面施加6.25MPa载荷,内径面和外径面设置在Y轴和Z轴方向上的约束,密封面设置为全约束(图6)。采用接触单元的罚函数算法进行分析。



图5 阀座的网格模型

3 分析

在常温下阀座为弹塑性体,其反应的力学失效形式是屈服,即进入塑性状态。其屈服准则的值通

常称作等效应力,可用Von Mises应力值进行评估,即采用第四强度理论评估其综合应力。

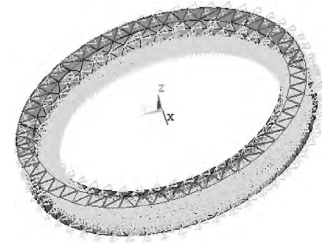


图6 阀座施加载荷和约束的模型

提取阀座接触静力分析的结果(图7,图8)可知,阀座所受应力分布和位移量分布基本符合轴向和径向的分布规律。

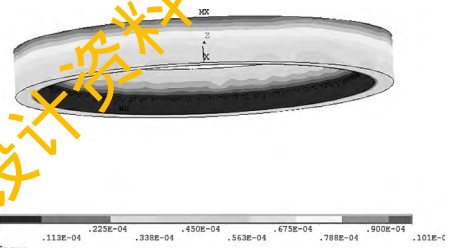


图7 接触应力分析的节点位移和变形

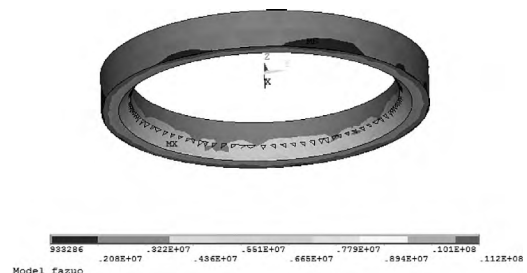


图8 接触应力分析的Von Mises应力云图

由于阀座的内径面与外径面受到Y轴与Z轴的限制不能产生运动,而阀座端面受到阀体的挤压,经过压缩后,密封件在轴向上的变形量逐渐减小,应力值成逐渐递增的趋势。所以密封面的轴向变形量最小,而受到的挤压力最大,最大值为11.2MPa。对比阀座聚四氟乙烯材料的性能,接触过程中产生的最大应力11.2MPa小于聚四氟乙烯的抗压强度值19.5MPa,阀座能满足强度使用要求,在介质压力下只产生正常的密封变形。

4 结语

仿真分析是阀门设计的一种重要方式,可对产品的性能给出初步的评价。而基于经典力学理论的常规设计计算方法由于其固有的局限性,对于复杂几何结构和多载荷作用下的计算是无能为力的,即

使对简单边界条件的结构,也会因为结构较复杂使得计算不准确,甚至与实际相差甚远。因此,基于有限元法的数值模拟解决相对复杂的问题,本文通过对常温下球阀的密封件进行有限元接触分析,获得了其接触应力和接触变形情况。分析结果表明,聚四氟乙烯阀座符合强度要求和密封变形限制。

参 考 文 献

- [1] 陈敏,汤文成,张逸芳,等. 阀门密封结构中超弹性接触问题的有限元分析[J]. 中国机械工程, 2006, 18(15): 1773-1775.
- [2] 陈风波,王立峰. 运载火箭用典型低温密封材料[J]. 宇航材料工艺, 2009, 4(3): 12-15.
- [3] 惠嘉. 温度对聚四氟乙烯材料特性的影响研究[J]. 火工品, 2006(1): 46-48.
- [4] 陈碧波. 聚四氟乙烯蠕变性能研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [5] 吴兴彬,李大永,唐伟琴. 聚四氟乙烯复合材料力学性能研究与有限元分析[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(2): 74-77.

- [6] 王仁,陈晓红. 高分子材料粘弹性本构关系研究进展[J]. 力学进展, 1995, 25(3): 289-302.
- [7] 王刚. 核电相关材料力学性能及微观结构分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [8] 李星星. 304 不锈钢本构模型参数识别研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [9] 叶丽燕,李细锋,陈军. 不同拉伸速率对 SUS304 不锈钢室温拉伸力学性能的影响[J]. 塑性工程学报, 2013, 20(2): 89-93.
- [10] 陈鑫,吴福迪. 大缝隙密封的几种异形截面橡胶密封结构的有限元分析[J]. 强度与环境, 2009(36): 1-5.
- [11] 牛永平,韩明,杜三明,等. 纳米氧化铝改性聚四氟乙烯的摩擦磨损性能研究[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(2): 59-62.
- [12] 何春霞,顾红艳,丁为民. 不同纳米材料填充聚四氟乙烯复合材料的力学性能[J]. 工程塑料应用, 2000, 28(12): 1-3.
- [13] 李树虎,贾华敏,王炳雷,等. 橡塑往复密封有限元分析[C]. 安世亚太 2006 年用户年会论文集, 2006, 38(2): 59-62.
- [14] 张浩强,汤忠义,温强. 高压管线固定球阀矩形密封圈有限元分析[J]. 机械, 2011, 38(7): 26-30.

(收稿日期: 2015. 03. 26)

(上接第 5 页)

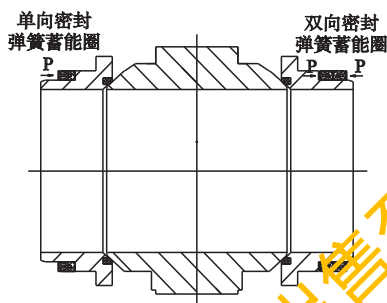
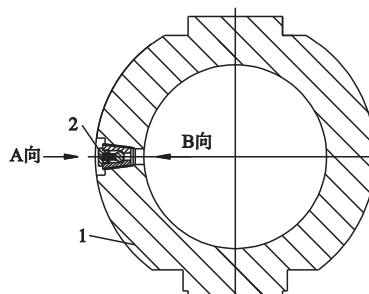


图 6 利用弹簧泄压



1. 球体 2. 泄压阀
图 7 球体上设置泄压阀

3.3 泄压装置

对大于 200mm 以上球阀,采用设置自动泄压装置解决阀腔内部压力升高的问题。大多数常规球阀一般选择在阀体上增设泄放阀释放阀腔内部的压力。但是 LNG 用球阀由于其使用在超低温工况环境下,如果向外界释放压力则会对环境和安全等造成影响。根据工艺管道要求,在球体上安装一个具有单向导通功能的自动泄放阀向上、下游管道释放阀腔压力(图 7)。当球体沿 A 方向受管道压力时,球体上的自动泄放阀由于受到自身弹簧预紧力和介质作用力的作用使内件关闭,处于密封状态。当阀腔受外界影响,发生压力改变,球体受到沿 B 方向作用的阀腔作用力,当异常达到一定压力时,沿 B 向的作用力克服泄放阀弹簧预紧力,推开泄放阀内件,使泄放阀打开,形成一个泄放孔,从而泄放掉阀腔内部的压力,使阀门可以安全正常工作。

4 结语

超低温高压球阀开关迅速,密封安全可靠,可在线维修,拆卸简单迅速,方便快捷,保证了系统的安全可靠运行,减少了对环境的污染和危害。

参 考 文 献

- [1] BS 6364-1998, 低温阀门[S].
- [2] API 6D-2008, 管道阀门[S].
- [3] 陆培文, 实用阀门设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [4] 税丽. 管线球阀自泄式阀座与双活塞效应阀座的分析[J]. 阀门, 2011(2): 28-29.
- [5] 吴堂荣,唐勇. 低温阀门密封性能的研究与分析[J]. 阀门, 2009(2): 26-28.
- [5] 孙奇,肖箭,邓德伟. 液化天然气用超低温阀门的设计与研究[J]. 阀门, 2013(1): 6-11.

(收稿日期: 2015. 02. 24)