

金属密封球阀的密封性能机理解析

李俊 张晓秋 张晓忠
(保一集团有限公司 浙江 温州 325000)

摘要: 本文对金属密封固定球阀的泄漏原因进行了探讨, 并通过有限元模拟分析和流体模拟分析法, 分别对金属密封固定球阀球体和球体与阀座组件进行了分析, 为球体和阀座的弹性变形分析提供参考路径。
关键词: 金属密封球阀; 有限元模拟分析; 流体模拟分析; 有限元分析

0 引言

球阀通过启闭件球体绕阀杆轴线旋转 90° 实现阀门的开启和关闭, 在管路上主要用于切断、分配和改变介质流向。其不仅结构简单、密封性好, 而且在一定的公称尺寸范围内具有体积小、重量轻、材料消耗少、安装尺寸小, 并且驱动力矩小、操作简单、易实现快速启闭和远程控制等特点, 是近十几年来发展最快的阀门品种之一。

根据密封材料划分, 球阀分为非金属密封球阀和金属密封球阀, 非金属密封球阀密封副为非金属材料, 较易实现密封, 早已成为成熟的产品, 金属密封球阀的密封副为金属材料, 能适应更大范围的温度和流体介质领域, 被广泛应用在较为苛刻的工况, 但其密封性较难达到非金属材料密封的等级, 特别是在高压或高温工况下, 金属密封球阀球体和阀座的弹性变形无法避免。针对设计者难以预判的由于弹性变形导致的密封失效, 本文采用有限元模拟分析和流体模拟分析法, 以 Class2500 NPS2 金属密封固定球阀为例, 对金属密封固定球阀的密封性能机理进行分析, 为减少高压或高温下球体和阀座的弹性变形提供参考路径。

1 密封原理

固定球阀球体以上下轴或支撑板固定, 采用浮动式结构阀座, 在弹簧力和介质压力共同作用下经精密研磨的金属阀座密封面紧贴球面实现密封。

图 1 为固定球阀阀座密封部位局部放大视图。阀门处于关闭状态时, 以石墨密封圈或 O 型密封圈为界将流体截断, 此时阀座受到弹簧预紧力 F 、流体压力 P 产生的介质力 G 、

密封圈摩擦力 f 及球体对阀座反作用力, 起密封作用的密封力为向右的合力 $F+G-f$ 。密封力产生的密封比压大于密封必需比压则实现密封。

2 金属密封固定球阀泄漏分析

了解了密封原理, 现对金属密封固定球阀泄漏的主要原因总结如下:

- (1) O 型圈或石墨密封圈部位泄漏。
- (2) 阀座密封面与球面研磨程度不够, 密封副不吻合。
- (3) 球体不圆或密封面粗糙。
- (4) 球体、阀座、固定轴强度不足产生塑性变形。
- (5) 球体与阀座在介质压力下产生弹性变形导致密封副剥离。

前 4 种原因一般厂家都有处理经验, 唯独第 5 种原因——球体与阀座在介质压力下产生弹性变形导致密封副剥离不易被发现, 尤其表现在高压或者高温下, 低压气体密封试验效果良好, 压力越高泄漏量越大, 压力卸除后球体与阀座恢复至初始形态, 检测球体圆度和密封面吻合度都合格, 此种情况一般首先推测是阀座背面 O 型圈或石墨圈泄漏, 往往忽略了高压下或者高温下球体与阀座都发生了不同步的弹性变形导致密封面剥离这条因素, 而弹性变形复杂, 不同部位变形量不同, 无法直接计算, 一般借助计算机有限元模拟加以分析验证。本文以 NPS2-CL2500 金属密封固定球阀为例进行分析, 其主要参数如下: 球体材质: F304+NI60, 阀座材质 F304+NI55, 球体直径: $\phi 90\text{mm}$, 流道直径: $\phi 42\text{mm}$, 密封面内径: $\phi 54\text{mm}$, 密封面外径: $\phi 62\text{mm}$, 阀座受介质作用力外径: $\phi 68\text{mm}$, 阀座小台阶外径: $\phi 58.6\text{mm}$, 阀座大台阶外径: $\phi 88\text{mm}$, 弹簧力 1100N。

3 密封性有限元分析

采用计算机可以模拟工件的实际受力情况, 对其位移、应力、应变进行分析, 常用的有计算机有限元模拟分析和流体模拟分析, 下文将对球体与阀座的弹性变形进行研究。

3.1 有限元模拟分析法

3.1.1 简化模型

首先根据应力及变形的特点对模型进

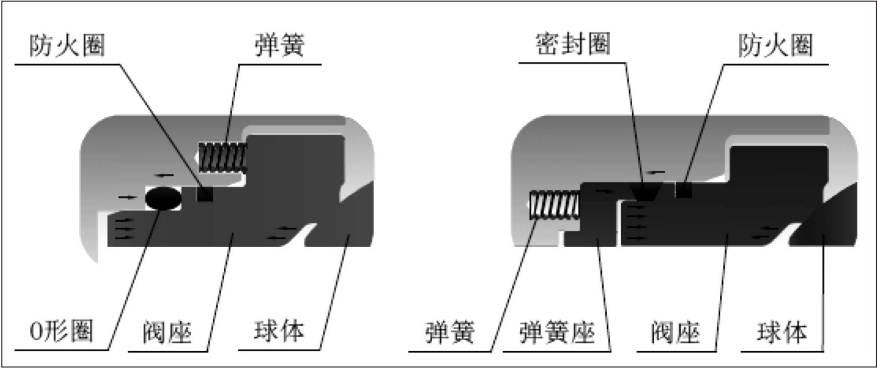


图 1 典型金属密封固定球阀阀座结构图

行简化。

- (1) 阀体刚度很大，变形量甚微，省略阀体。
- (2) 球体是由上、下轴固定，假定上、下轴刚度足够大，省略上、下轴。
- (3) 弹簧、O 型圈和石墨密封圈对球体与阀座的接触无影响，可以省略。
- (4) 分析对象。

由于球体处于固定状态，可以单独进行分析，阀座是浮动状态，不宜单独进行分析，由于球体与阀座组合分析更接近实际，在此分别对球体和球体与阀座组件进行分析。

3.1.2 球体静态分析

- (1) 建立新算例。选择静应力分析。
- (2) 网格划分。选择基于曲率的网格，用可变化的单元大小来生存网格，有利于细小特征处获得精确的结果。网格密度采用较高等级，求解结果更精确，但是网格划分和求解时间较长，对电脑配置要求也较高，本文举例模型尺寸较小，所以采用高精度网格，如大规格模型建议采用软件默认的中等密度网格。
- (3) 应用材料。球体基体材料设置为 A182 F304。
- (4) 添加载荷。所有与介质接触部位添加压强 42MPa。
- (5) 添加夹具。夹具设置为以上下轴孔承压面固定，符合实际情况，分析结果如图 3 所示。

从分析结果可以看出，上轴孔位置应力集中，最大应力超过屈服强度，球面应力小，产生弹性变形，且变形不均匀，

最大变形量在水平球口位置为 0.02656mm。

3.1.3 球体、阀座组合静态分析

- (1) 建立新算例。选择静应力分析。
- (2) 网格划分同上。
- (3) 应用材料。球体与阀座基体材料设置为 A182 F304，忽略密封副涂层。
- (4) 设置连接。选择密封副设置全局接触，无穿透，摩擦系数为 0.25。
- (5) 添加载荷。所有与介质接触部位添加压强 42MPa，阀座添加弹簧力 1100N。
- (6) 添加夹具同上。

从图 4 分析结果可以看出，球体上轴孔位置应力集中，最大应力超过屈服强度，球面应力小，产生弹性变形，并且变形不均匀，水平球口位置变形量 0.02551 ~ 0.02616mm，上、下位置变形量 0.01155 ~ 0.01639mm，阀座承受应力未超过屈服强度，同样产生弹性变形，密封面水平位置变形量为 0.03571 ~ 0.03635mm，上、下位置变形量 0.02973 ~ 0.04044mm，阀座弹性变形可以弥补球体的弹性变形以实现密封。

3.2 流体模拟分析法

流体模拟分析是以流体载荷加载对工件进行分析，必须要以球体、阀座组合，才能形成一个容纳流体的空间。

- (1) 设置向导。设置介质为水或者气体及其密度等参数。
- (2) 创建封盖。创建封盖形成一密闭空间。
- (3) 设定边界条件。设置介质压力大小及其方向。
- (4) 设置目标。
- (5) 运行。
- (6) 将结果导出到 simulation。
- (7) 新建 Simulation 应力分析。
- (8) 设置材料。
- (9) 设置相接触面组为自动查找相接触面组。
- (10) 夹具设置同上。
- (11) 添加载荷。选择保存的流动效应。

运行结果如图所示，球体上轴孔位置应力集中，最大应力超过屈服强度，球面应力小，产生弹性变形，并且变形不均匀，水平球口位置变形量 0.02573 ~ 0.02681mm，上下位置变形量 0.01312 ~ 0.02174mm，阀座承受应力未超过屈服强度，同样产生弹性变形，密封面水平位置变形量为 0.04386 ~ 0.04618 mm，上下位置变形量 0.04991 ~ 0.06408mm，阀座弹性变形可以弥补球体的弹性变形以实现密封。

4 结语

本文采用有限元模拟分析和流体模拟分析法，分别对金属密封固定球阀球

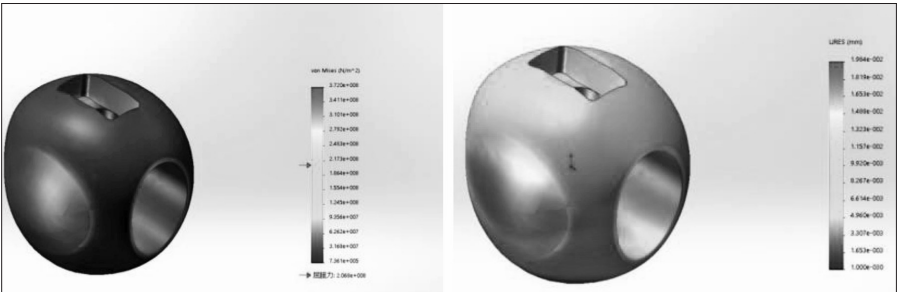


图 2 球体分析结果

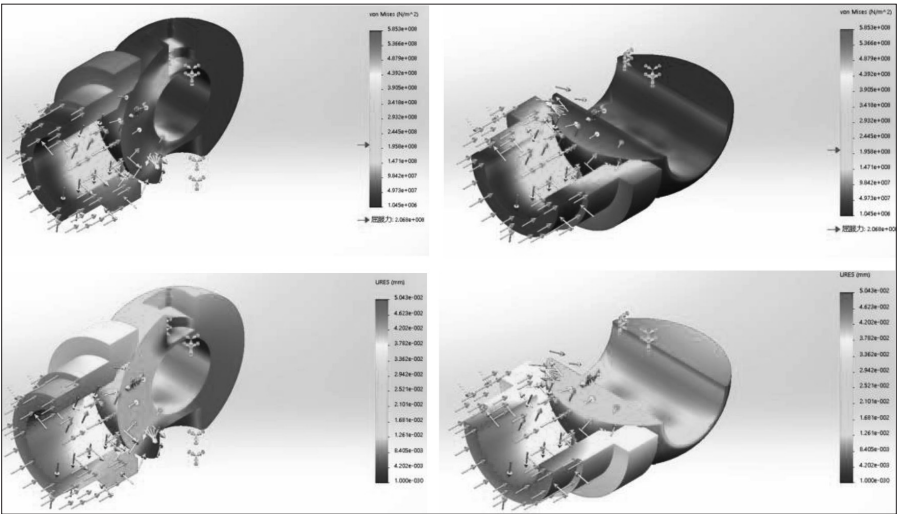


图 3 球体、阀座组合分析结果

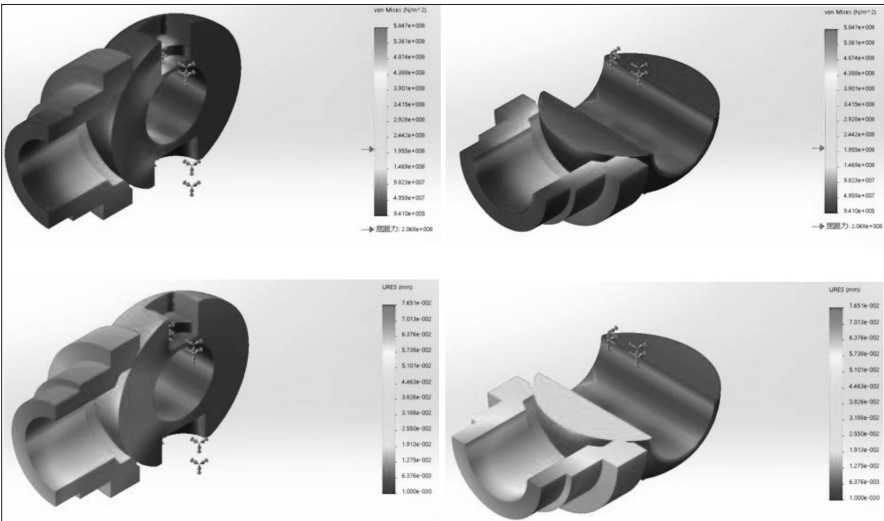


图 4 流体模拟分析结果

体和球体与阀座组件进行分析，由于参数设置不同，分析结果有细微差别，但是分析结果趋势一致。对于在高低温工况下，由于弹性变形所导致的泄漏，可以通过上述方法得到一定的分析验证，为优化设计和工艺提供参考。

参考文献:

[1] 章华友,晏泽荣,陈元芳,袁玉求.球阀设计与选用[M].北京:北京科学技术出版社,1994.

[2] 朱锦霞,焦伦龄,丁雪兴,等.球阀三维流场的CFD数值模拟及试验研究[J].机械制造,2016,54(5):82-84.

[3] 偶国富,肖定浩,易玉微,等.硬密封球阀主密封副接触的特性分析[J].浙江理工大学学报,2015,33(5):669-674.

[4] 唐元清,辛舟,焦伦龄.基于Workbench的硬密封球阀球体与阀杆接触部位优化设计[J].煤矿机械,2015,36(11):299-301.

[5] 何家胜,林骁,朱晓明,张林.球阀密封性的有限元分析[J].化工装备技术,2016,37(3).

[6] 陈黎明.用流固耦合方法对阀体进行应力分析[J].阀门,2016(1).

(上接第 73 页)

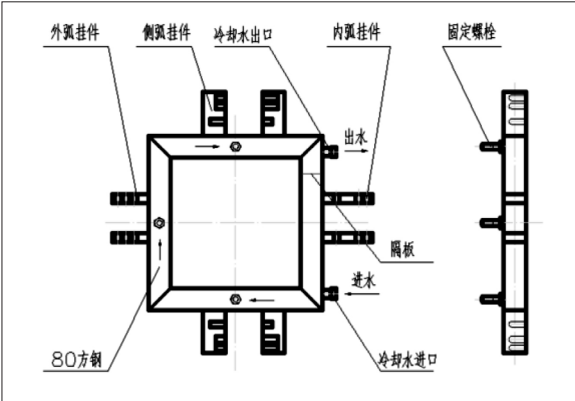


图 5 方框结构图

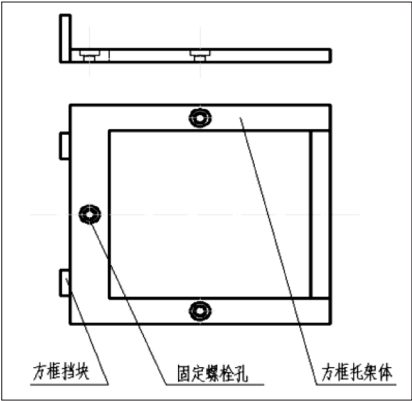


图 6 方框托架图

于铸坯弧形的中心线，当调整到 200 方断面时，卡槽的尺寸往内弧移动 50mm，也正好处于 200 方断面的铸坯中心线处。

3.2.3 II、III、IV 段方框托架的设计、改造

方框的托架与固定梁进行焊接，主要是便于方框的更换，托架采取框架结构，设计三个沉头凹槽，正好与方框的底部固定螺杆配合，同时有一定的调节空间，可进行尺寸微调。安装好方框后，在托架反面用螺母进行固定，可防止方框松动移位。如图 6 所示。

4 改造后效果

- (1) 改造完毕后，水条对中精度能控制在 0.5mm，且经过半年观察，方框无变形，铸坯尺寸控制精度较好。
- (2) 降低检维修工作量，倒换断面时间能控制在 4 小时内完成，参与倒方人员数量减少一半，能更好参与到设备检修、维护中去，更好地为生产服务。

(3) 倒方完的水条变形量小，能继续回收使用，降低费用成本。

(4) 对于提高铸机作业效率有大作用。

5 结语

4# 连铸机自投产以来，因设计三种断面，每次倒换方坯断面时，会出现一些问题，严重影响生产计划的正常安排，这些问题主要集中在二次喷淋冷却系统上。为此，本文

分析了二冷室的水条、方框和托座等方面存在的问题，并提出了技改思路及方法。通过后期观察，发现本次改造效果明显，解决了倒换断面困难、喷淋冷却管对弧对中调整难、喷淋冷却管支架变形量大和支撑辊更换困难等问题，而且提高了工作效率，产生了巨大生产效益。

参考文献:

[1] 吕蔚. 宝钢分公司 4# 连铸机的扇形段控制[J]. 宝钢技术, 2008(01): 17-19.

[2] 李冬春. 宝钢 4# 连铸机扇形段标定及其故障处理方法[J]. 重型机械, 2016(06): 106-109.

[3] 侯葵. 连铸机水口结瘤分析及预防措施探讨[J]. 天津冶金, 2021,(05):15-19.

作者简介:熊伟 (1973.08-), 男, 汉族, 湖北广水人, 本科, 副高级工程师, 研究方向:机械电气自动化设备管理。