

文章编号: 1002-5855(2015)02-0021-02

安全阀流场和排量的模拟及试验研究

姜圣翰, 王宇翔, 李晓钟

(中国核动力研究设计院, 四川 成都 610213)

摘要 开展了安全阀流场数值模拟的理论研究, 获得了安全阀排放时的内部压力分布图以及速度矢量图, 计算了安全阀在不同入口压力下的排量值, 测试了在不同入口压力下阀门的排量, 分析了计算数据和试验结果的差异, 证明了数值模拟方法可以有效地模拟安全阀内部的流动情况。

关键词 安全阀; 数值模拟; 流场; 排量; 试验

中图分类号: TH134

文献标志码: A

Simulation and Experimental Study of Flow Field and Displacement of Safety Valve

JIANG Sheng-han, WANG Yu-xiang, LI Xiao-zhong

(Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610213, China)

Abstract: This paper describes a numerical simulation method using Fluent software to study the flow field of safety valve. The safety valve discharge model is established and the numerical simulation is completed. The internal pressure distribution map, velocity vector graph and displacement at different inlet pressure of safety valve is got through the calculation result. At the same time, in order to validate the results of numerical simulation, the displacement experiment was conducted in the valve displacement experiment unit to obtain the displacement of safety valve at different inlet pressure. Through the comparison between calculations and experiment result, it is found that Numerical simulation method can effectively simulate the internal flow of safety valve and it is consistent between calculation and test results.

Key words: safety valve; numerical simulation; flow field; displacement; test

1 概述

安全阀是各类承压设备不可缺少的安全附件, 对于保障设备正常运行和安全生产具有重要的作用。安全阀内部流场的速度、压力和温度的分布对安全阀性能影响很大, 了解阀门内部的各种物理场分布, 可以更好的设计安全阀。本文通过数值模拟技术获得了先导式安全阀排放过程中阀体内部的流场、压力和速度的分布, 通过模拟计算的结果, 指导安全阀的设计, 以更快的速度获得更加优化的产品。

2 计算模型

2.1 求解域建模和网格划分

安全阀的流场区域是从安全阀入口到出口, 由阀体、阀座、阀瓣等零件所围成的三维空间。为了减少计算量, 对流场区域进行了简化。①简化固壁边

界, 忽略了壁面上的一些小边角及小空隙对流场的影响(图1)。②整个流场区域从几何形状上看, 相对于Y-Z面是对称的, 所以假设整个流动状态也是面对称的。因此, 计算域只取一半的流场空间区域。

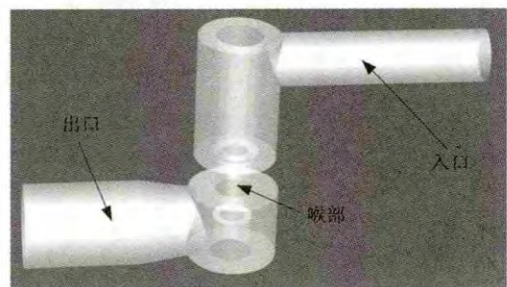


图1 简化后的流腔模型

作者简介: 姜圣翰(1983-), 男, 满族, 工程师, 从事阀门设计工作。

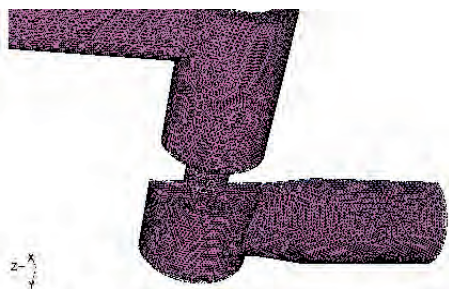


图2 网格划分

将计算实体导入划分网格软件(图2)。由于流场区域比较复杂,因此采用非结构化网格。

2.2 边界条件

入口边界采用压力入口的总压和总温数值为安全阀入口压力和温度条件。出口边界采用压力出口的总压和总温数值为大气压力和环境温度条件。壁面边界因为是粘性流动所以采用壁面无滑移条件。对称面边界条件采用对称平面内法向速度为0和所有变量的法向梯度为0。

2.3 内部参数设置

将划分好的网格文件导入数值模拟软件中,针对研究的流场,求解连续方程和动量方程。由于是湍流问题,建立了相应的湍流模型。模型求解器选择压力基隐式求解,粘性模型选择 $k-\epsilon$ 模型。流体介质设置为空气。

3 仿真及分析

迭代约200次之后模型计算收敛。由压力分布图(图3和图4)可以看出,在入口段,压力几乎没有变化,在安全阀喉部,压力急剧降低,在出口段,压力的分布较不均匀,证明流体经过喉部以后,在出口段流动已经比较紊乱。从速度矢量图(图5和图6)也可以看出,流体经过喉部以后,流体速度矢量的方向比较紊乱,有的地方甚至出现了旋涡。

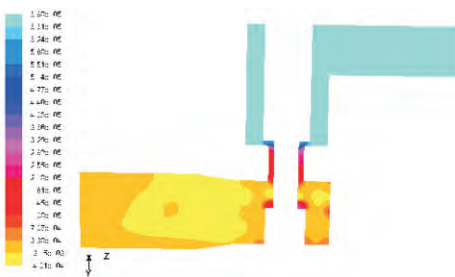


图3 压力分布云图

4 排量计算

安全阀理论排量计算方法都是基于理想当量喷嘴的排量公式导出。安全阀的额定计算排量等于当

量理想喷嘴排量乘以一个小于1的系数,即排量系数。对于某一特定的安全阀设计,需要通过排放量测定试验,得到此类安全阀排量系数。安全阀的排量系数的大小取决于安全阀的结构、流道部分的形状、尺寸比例、密封面型式、阀瓣结构以及阀门与流体接触表面的粗糙度等因素。在阀座通道截面直径不变的条件下,对安全阀排量系数影响最大的是阀瓣开启高度、导向筋引起的流道截面缩小和阀座的形状(圆柱形或喷嘴形)。



图4 喉部压力分布云图

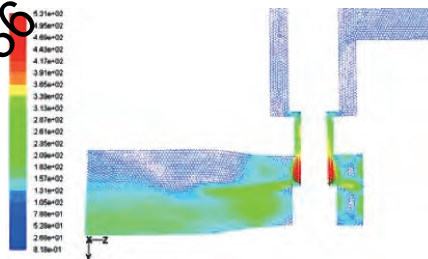


图5 速度矢量图

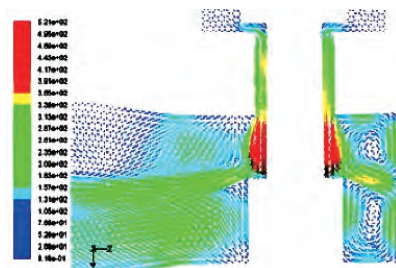


图6 喉部速度矢量图

大量的测试数据表明,对于流道结构形状具有几何相似特点的同一系列或同一设计的安全阀,其排量系数基本上是一致的。安全阀的排量系数 K_d 为

$$K_d = \frac{W}{W_t} \quad (1)$$

式中 W ——试验所得实际排量

W_t ——计算所得理论排量

(下转第28页)

用,后一层焊道对前一层焊道起到热处理作用,可降低焊接接头的焊接残余应力,改善焊接接头的组织与性能。

(4) 焊前预热

由于端盖和轴座较厚,焊接时拘束应力较大,因此焊前需预热,降低焊接接头的冷却速度,降低焊接应力,改善焊接接头的组织和性能。

(5) 热处理

对焊接结构采取去应力退火的热处理,利用高温时碳素结构钢屈服点下降和蠕变现象松弛、消除焊接应力,或降低焊接残余应力,改善焊接接头的组织。

4.3 焊接材料

选用与 Q235 - B 母材等强匹配的低氢型焊材,如 J426 和 J427 焊条, H08MnSi 焊丝。低氢型焊材采用熔渣 CaO 脱硫,且熔渣碱度大,加之钙与硫的亲合力大,脱硫后的产物 CaS 完全不溶解于液态金属中,所以脱硫效果好,抗热裂纹性能好。焊材中的硫、磷质量百分数应不超过 0.03 ~ 0.04,碳的质量百分数应不超过 0.12。

(上接第 22 页)

由于排量试验的成本较高,况且在高压下的蒸汽排量试验不具备条件。利用 CFD 软件进行部分模拟排量试验,则可以节约试验经费,缩短产品的研制周期。在模拟计算的基础上,通过对安全阀入口面或出口面进行速度积分,可以得到安全阀的质量流量,即排量(表 1)。

表 1 安全阀排量计算值

编号	进口压力 MPa	计算质量流量 kg/h
1	0.5	1305.2
2	0.6	1467.1
3	0.7	1629.8

5 排量试验

安全阀排量试验按照 GB/T 12242 的要求在试验装置上进行。试验以空气为介质,背压为大气压。空气的体积排量通过二次仪表读数,试验误差范围为 $\pm 2\%$ 。试验中,分别在 0.5、0.6、0.7 MPa 三个压力值下测定空气的体积排量。将计算结果与试验结果对比(表 2),可以看出,计算误差约 5%。

4.4 焊接质量

熔入焊接接头的定位焊应焊透,若发现有裂纹、夹渣等缺陷时应将定位焊完全清除。打底层焊缝应焊透,熔合,因为底层焊缝的缺陷更容易引起焊接接头热裂纹的产生。焊缝表面与母材接口处应圆滑过渡,焊缝应平滑,不应凹凸不平,以提高焊接接头的疲劳强度。

5 结语

端盖与轴座间焊接接头坡口结构改进后,通过采用合理的焊接规范和低氢焊接方法,提高了焊接质量,避免了热裂纹的再次发生,取得了满意的结果。

参 考 文 献

[1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册(第 2 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
[2] 俞尚知. 焊接工艺人员手册 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1991.
[3] 刘玉忠. 焊工技师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
(收稿日期: 2014.04.28)

表 2 安全阀排量试验值

编号	进口压力 MPa	实测体积流量 m^3/h	实测质量流量 kg/h	计算质量流量 kg/h	误差
1	0.5	148.69	1352.65	1305.2	-3.5%
2	0.6	149.79	1545.88	1467.1	-5.1%
3	0.7	147.06	1717.91	1629.8	-5.1%

6 结语

在安全阀的产品研发中引入数值模拟的方法可以有有效的模拟内部的流动情况,并且根据数值模拟计算出的排量数值精确可靠,可以对安全阀的设计提供参考。

参 考 文 献

[1] 陈殿京, 刘殿坤, 董海波, 等. 安全阀流场数值模拟研究 [D]. FLUID MACHINERY 2008, 36 - 10.
[2] 韩占忠, 王敬, 兰小平. 流体工程仿真计算实例与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
[3] GB/T 12242 压力释放装置 性能试验规范 [S].
(收稿日期: 2014.08.30)