

# 基于 CFD 双锥面调节阀流道结构特性分析

刘 洁,李灵东

(哈尔滨工程大学 核科学与技术学院,哈尔滨 150001)

**摘要:**针对某双锥面调节阀,应用三维建模软件建立阀门内部流道模型,通过 CFD 进行离散求解,得到调节阀的流量特性曲线,与实验数据进行了比较。通过改变双锥面阀芯结构尺寸,再对流道进行数值模拟,得出影响流道结构特性的主要因素。

**关键词:**双锥面调节阀;CDF 数值模拟;流道结构;特性分析

**本文引用格式:**刘洁,李灵东.基于 CFD 双锥面调节阀流道结构特性分析[J].兵器装备工程学报,2016(9):162-165.

**Citation format:**LIU Jie,LI Ling-dong. Structural Characteristic Analysis on a Double-Poppet Regulating Valve Based on CFD[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2016(9):162-165.

中图分类号:TH134

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)09-0162-04

## Structural Characteristic Analysis on a Double-Poppet Regulating Valve Based on CFD

LIU Jie,LI Ling-dong

(College of Nuclear Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In view of the double-poppet regulating valve, the three dimensional modeling software was used to establish valve interior flow field model. By the application of CFD software disperse solution, the flow characteristics of the control valve were got, and afterwards we compared and analyzed the flow characteristics pursued with the experimental data. By changing the structure size of the double-poppet spool and carrying on the numerical simulation of the flow channel, the main factors which affect the flow characteristics of the flow channel were obtained.

**Key words:** double-poppet regulating valve; CFD numerical simulation; channel structure; characteristic analysis

阀门在核电站各个部门有着广泛的应用,某型核反应堆一回路辅助系统调节阀是重要零件之一。与稳压器配合使用,当反应堆冷却剂系统压力过高时,比例式喷雾阀开启,并随着压力升高而加大开度,以避免反应堆冷却剂系统的完整性遭到破坏,使稳压器压力回到设计值<sup>[1]</sup>。该阀门采用流量控制精度高的双锥面阀芯,2个锥面的几何尺寸是决定阀门控制调节能力的非常重要的设计参数,传统的研究手段是采用试验方法,对阀门的外部特性,如进出口压力差、流量系数等,进行测量和分析,而对流体在阀门内部流动情况则很难知晓<sup>[2-5]</sup>。

近年来,为了解阀门内部流场分布,探寻各流动参数的变化规律,计算流体力学(CFD)技术应用到该领域是一种非常有益的探索。英国 GECALSTHOM 公司的 E. N. Jalmraes (Ceng) 工程师对高压蒸汽涡轮阀门内部三维黏性流场进行了分析,应用高雷诺数的方程模型,并进行不同开度下的稳态模拟计算,获得了压力场、速度场分布情况<sup>[6]</sup>。中国科学院热物理研究所与北京全三维动力工程有限公司合作,由沈阳等人利用 CFD 技术对高压联合进气阀内的三维黏性流场进行分析,并对其几何结构进行了改进,为阀门结构优化提供了重要依据<sup>[7]</sup>。徐克鹏、蔡虎等人详细分析了大型汽轮机

收稿日期:2016-04-18;修回日期:2016-05-06

基金项目:校第二十一届“五四杯”大学生学术科技创新项目(A6-2015-15-002)

作者简介:刘洁(1995—),男,主要从事核技术应用研究。

主汽调节阀阀门内部的流场结构,对流动现象提出了合理解释,得出了阀门的流量分配关系,能量损失分布情况,讨论了能量损失产生的机理,并进行了实验验证<sup>[8]</sup>。

本文采用 FLUENT 流体分析软件,对某型双锥面高精度调节阀进行数值模拟,详细分析了4种优化双锥面结构的阀门内部流场特征,数值计算结果与实验数据进行对比分析。研究结果可为同类阀门的设计和试验提供借鉴。

## 1 双锥面调节阀结构模型

通过三维建模软件 Pro/ENGINEER 建立了某型双锥面高精度调节阀流道模型。该阀门主要由阀体、阀芯、阀座和密封组件等组成。阀门的公称通径为 DN25,工作压力为 1.6 MPa,压差不低于 0.5 MPa。如图 1 所示。

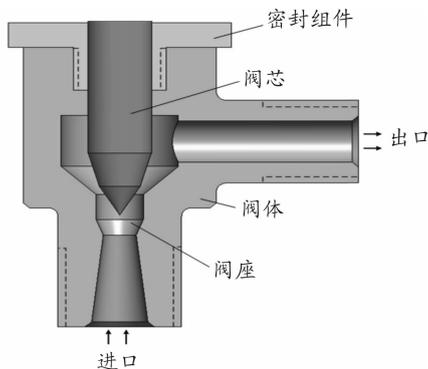


图1 双锥面调节阀内部结构示意图

调节阀流道是锥阀腔内的流动空间,即连通进口与出口的空间。图 2 所示的流道模型是从图 1 中提取的三维模型,由图 2 可知,流道进口方向与出口方向之间呈 90° 夹角,从入口进入阀腔的流体,流经阀芯与阀座构成的节流通道,通过阀体腔,最终从出口流出。

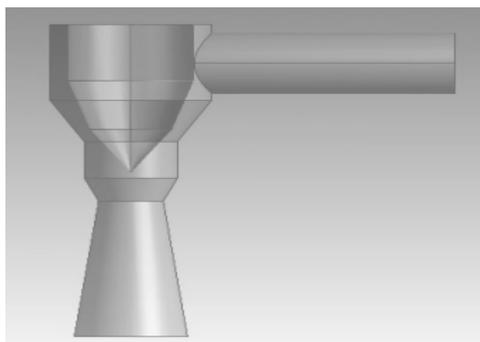


图2 双锥面调节阀流道模型

## 2 仿真计算

### 2.1 划分计算网格

流道模型建立后,模型的计算网格划分是非常重要的。为保证计算精度,划分网格时,遵循以下2个原则<sup>[9-10]</sup>:

原则1:不规则结构区域网格密于规则结构区域;原则2:流动强烈区域网格密于缓慢区域。本模型阀芯锥面头部附近遵照原则1进行加密处理;模型阀座附近遵照原则2进行加密处理。在上述原则的基础上,根据计算能力选择网络数量并进行网格划分。模型选择四面体非结构网格,对流动重点部位和流动剧烈的地方进行网格加密,并对不同网格数量下的网格品质进行了比较。依据计算机的性能,本模型确定体网格总数在30万左右。得到如图3所示的稳态计算网格。

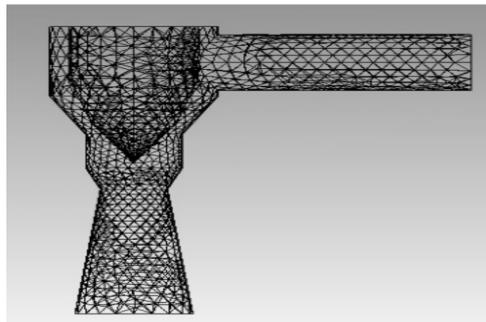


图3 流道模型网格划分

### 2.2 边界条件

计算模型采用  $k-\varepsilon$  湍流模型,采用隐式 Segregated 法。流体状态边界为,介质采用水蒸汽,作可压缩流体考虑。重力加速度为  $9.8 \text{ m/s}^2$ ,湍流强度取 3%,设置进口面边界为压力进口(1.6 MPa),入口直径为 24.6 mm,出口面边界为压力出口(1.1 MPa),出口直径为 25.5 mm。计算精度控制采用 SIMPLE 算法,残差精度设为  $10^{-5}$ 。

### 2.3 计算结果

调节阀的流量特性是指介质流过阀门的相对流量与相对位移(阀门的相对开度)之间的关系:

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right) \quad (1)$$

式中: $Q$ 为调节阀在某一开度下的流量; $Q_{\max}$ 为调节阀全开流量(最大流量); $l$ 为调节阀在某一开度下阀芯位移; $L$ 为调节阀全开时阀芯位移<sup>[11]</sup>。

通过改变阀芯与阀座之间的通流面积,便可控制流量。将阀芯在不同位移下的模型依次进行数值计算,得到相应的质量流量,通过计算得出阀门在不同位移下的相对流量<sup>[12]</sup>。阀芯相对开度与相对流量变化曲线如图4所示。

从结果可看出,阀门在初始打开阶段,相对流量变化比较缓慢,随着开度增加,相对流量变化加快。相对流量变化较大的范围在相对位移 50% ~ 100%,变化量为 0.835;0% ~ 50%,相对流量变化只有 0.165。与阀门实际工作情况基本相符,即小开度精调,大开度控流量。

流体在流过阀门时,压力最大的位置分别出现在阀门进口、背对出口流道和阀芯头部(压力最大达到 1 599 361 Pa)。通过锥心时压力降低到 137 029 Pa,随着流体的流动,过流截面积不断增大。当流体全部通过阀门以后,流体的压力逐渐恢复(151 347 Pa)。流道压力云图见图5。

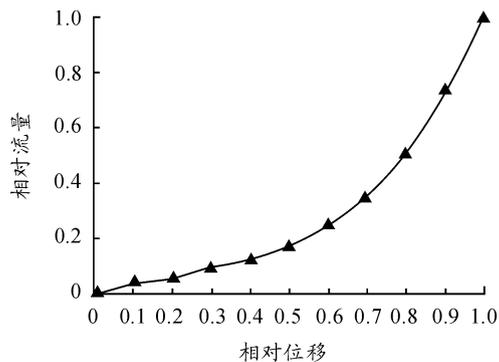


图4 相对位移与相对流量变化曲线

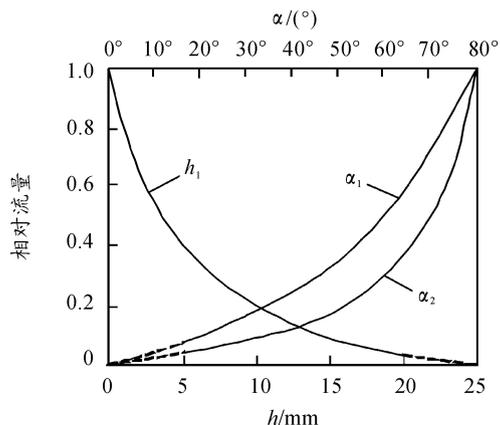


图7 几何参数与相对流量变化关系

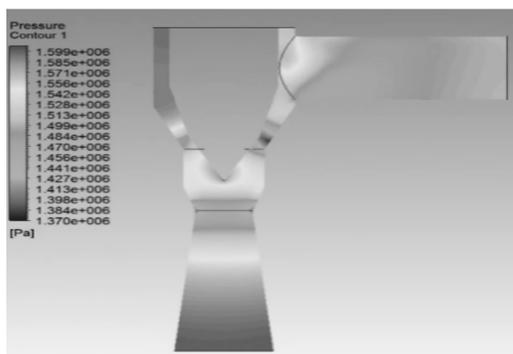


图5 通道流体压力分布

对建立的4种锥芯尺寸进行数值计算,并把计算结果与实验数值进行比较。模型1是 $\alpha_1 = \alpha_2$ ,即处于单锥面状态,流通规律与实验结果基本一致,但是相对误差比较大,最大值为0.168;模型2的 $h_1$ 偏大,模型4的 $\alpha_1$ 偏大,两个模型的流通规律与实验结果基本一致,模型2在开度较大时产生很大误差,最大值为0.237,模型4在阀芯处于中间位置时产生很大误差,并且流量控制不稳定,最大误差为0.255;优化后的模型3的流通规律与实验结果有很好的—致性,并且误差比较小,最大误差仅为0.046。结构优化流量特性如图8所示。

### 3 通道特性分析

对该调节阀通道结构分析可知,在阀门的进出口几何尺寸、开度确定的情况下,阀芯几何形状是影响阀门的流通性的最主要的影响因素。因此,选择正确的阀芯锥角几何尺寸非常重要。

双锥面阀芯几何尺寸定义见图6。阀芯锥角几何尺寸由2个锥面的半角 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 和锥台高度 $h_1$ 确定。

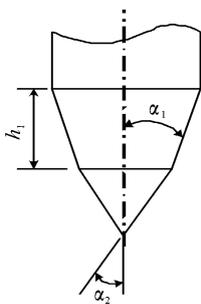


图6 双锥面阀芯几何尺寸定义

在保持2个锥面半角 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 不变的情况下,相对流量随着锥台高度 $h_1$ 的增加而减小;保持锥台高度 $h_1$ 不变,相对流量随着锥面半角 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 增加而增大。实际双锥面阀芯3个参数是互相关联和制约的,参数的匹配关系是流量特性的决定因素。3个几何参数与相对流量变化关系如图7所示。

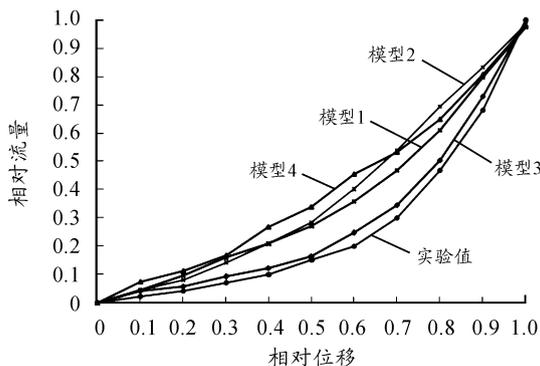


图8 优化模型数值计算曲线

### 4 结论

运用理论分析、数值仿真相结合的方法,对双锥面阀门通道进行系统、深入分析。计算结果表明:通过数值模拟所得到的结果与实验数据有较好的一致性。这有助于提升阀门优化设计水平,缩短设计周期,降低人力和试验成本,具有重要的现实意义;在对双锥面阀芯结构尺寸充分分析的基础上,给出4种结构模型,模型3的仿真结果与实验数据基本一致,该模型可满足实际阀门设计要求;研究成果可为双锥面调节阀后续优化设计和试验提供理论依据。

## 参考文献:

- [1] 樊达宜. 基于 FLUENT 的节流管式调节阀结构优化设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014: 42 - 59.
- [2] “阀门管件设计”编译组. 美国阀门管件设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 93 - 96.
- [3] 张健, 姜继海. 锥型节流阀压力特性仿真与试验 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 36 - 40.
- [4] 尚照辉. 阀芯结构对节流截止阀性能影响的研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012: 36 - 69.
- [5] 马征. 基于 ANSYS 的汽轮机叶片参数化有限元分析 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013: 56 - 78.
- [6] 李勇. 阀门三维参数化设计系统的开发 [D]. 成都: 四川大学, 2002: 54 - 73.
- [7] 沈阳, 栾秀春. 节流管式调节阀动态特性研究 [J]. 电站系统工程, 2012(5): 11 - 17.
- [8] 徐克鹏, 蔡虎, 徐星仲, 等. 600MW 汽轮机高压联合进汽阀内部流场的数值模拟 [J]. 工程热物理学报, 2002, 23(6): 555 - 558.
- [9] 彭龑, 郝刘峰. 阀门内流场数值模拟分析研究 [J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2010, 23(10): 546 - 549.
- [10] 肖鑫. 调节阀流场分析与结构优化研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014: 20 - 36.
- [11] 屈铎, 彭利坤. 基于 CFD 的球阀阀腔流场的数值仿真 [J]. 液压与气动, 2014(11): 112 - 115.
- [12] 李杰, 庞天照, 童法松. 节流阀流量特性曲线求解方法 [J]. 阀门, 2015(3): 26 - 28.

(责任编辑 唐定国)

(上接第 122 页)

- [7] VIKAS S, SHAWN A C, LALLIT A. Thermally Actuated Shape-memory Polymers: Experiments, Theory and Numerical Simulations [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2010, 58(8): 1100-1124.
- [8] 原永亮, 杨臻, 王圣辉, 等. 轮系在翻转机构中的应用分析 [J]. 包装工程, 2014, 17(9): 86-90.
- [9] 邱枫, 杨臻, 原永亮. 一种新型电磁式锁紧机构设计与仿真分析 [J]. 包装工程, 2015, 36(17): 80-83.
- [10] SHI Bing, JIN Ye. A Framework of Virtual Prototyping Environment for the Design and Analysis of Mechanical Mechanism with Clearance [J]. Virtual and Physical Prototyping, 2007, 2(1): 21-28.
- [11] 卢利平, 唐龙, 岳恩, 等. 镍电阻丝的制备及电阻温度特性 [J]. 四川兵工学报, 2013(12): 113-115.
- [12] 张浙, 刘登瀛. 非傅里叶热传导研究进展 [J]. 力学进展, 2000(03): 446-456.
- [13] CubeSat Design Specification Rev. 12 [Z]. California State Polytechnic University, 2010.
- [14] Jakob Fromm Pedersen, Vega CubeSats ICDiss0rev4, ESA, EuropeanSpace Research and Technology Centre-Keplerlaan1 [Z]. Noordwijk, The Netherlands, 2009.
- [15] PILATO L A, MICHNO M J. Advanced Composite Materials [Z]. Springer, 1994.

(责任编辑 唐定国)