

# V形调节球阀的结构优化

张希恒<sup>1</sup>, 姚晓春<sup>1</sup>, 余建平<sup>1</sup>, 付碧坤<sup>2</sup>

(1. 兰州理工大学 石油化工学院, 甘肃 兰州 730050 2. 张家港福瑞特种设备股份有限公司, 江苏 张家港 215637)

**摘要** 利用计算流体力学 CFD 软件, 研究 V 形调节球阀在不同开度下的流量特性并进行数值模拟分析。结合实验数据, 优化 V 形切口形状, 使其与理想的流量特性趋于一致, 提高了阀门的调节性能。

**关键词** V 形调节球阀; CFD; 数值模拟; 优化

中图分类号: TH134 文献标识码: A

## V-ball valve regulating the CFD numerical simulation of structural optimization

ZHANG Xiheng YAO Xiaochun, YU Jianping FU Birkun<sup>2</sup>

(1. Gansu Province, Lanzhou, Lanzhou University of Technology Institute of Petrochemical Technology, Post Code 730050  
2. Zhangjiagang Furui particular kind equipment incorporated company)

**Abstract** The use of computational fluid dynamics CFD software to study the regulation of V-ball valve opening under different flow characteristics and numerical simulation analysis combined with the experimental data, optimizing the of V-incision to the flow characteristics of the ideal line to improve the regulation characteristics of the valve

**Key words** regulation of V-ball valve; CFD; numerical simulation; optimization

### 1 概述

V 形调节球阀的流量特性为近似等百分比, 该阀可调范围广, 密封可靠, 使用寿命长, 而且 V 形切口的球体与金属阀座之间具有剪切作用, 适用于含纤维、微小固体颗粒和料浆等介质的工况。由于球体的 V 形切口是影响其调节性能的关键因素, 本文结合实验数据, 利用计算流体力学 CFD 软件, 优化球体 V 形切口的形状, 使其实际流量特性曲线与理想的流量特性曲线尽量一致, 提高调节的灵敏性。

### 2 球体 V 形结构

以 DN80、可调比为 100 的 V 形调节球阀为例。其球体上开有一个 V 形切口 (图 1)。阀杆旋转, 开口面的形状从三角形逐渐变化到圆弧形, 因而改变阀门的流通面积。随着阀杆继续旋转, V 形切口旋入阀体, 球体与阀体中的密封圈接触, 达到良好的调节性能和密封性能。球体开口面积不断变化实现阀

门的流量调节, 所以 V 形切口的形状是影响球阀流量特性的主要因素。

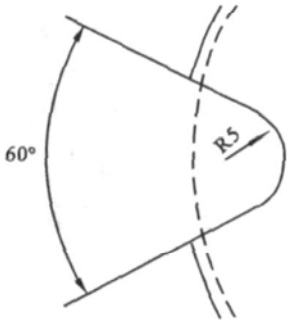


图 1 球体的 V 形口

### 3 数值模型

由于球体的 V 形切口形状是影响球阀流量特性的主要因素, 所以仅分析球体上流体通过的部分。球阀的 CAE 模型如图 2 所示, 将其导入 CFD 前处理软件 Gambit 中进行网格划分。由于模型的结构是不规则形状, 所以采用非结构化网格进行划分, 网

格数目大约在 30 万个。将划分好的网格模型导入 CFD 后处理软件 *Fluent* 中, 在计算机上模拟计算不同开度下流体流过阀门的流量。数值模拟计算是基于不可压流体的 *Reynolds* 平均动量方程和连续性方程, 由于流体在阀门内的流动属于湍流流动, 湍流模型采用标准 *k-ε* 双方程模型。

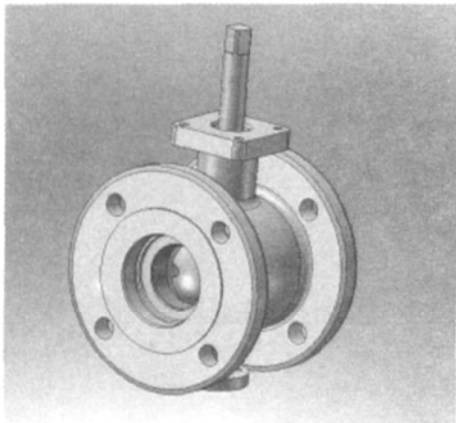
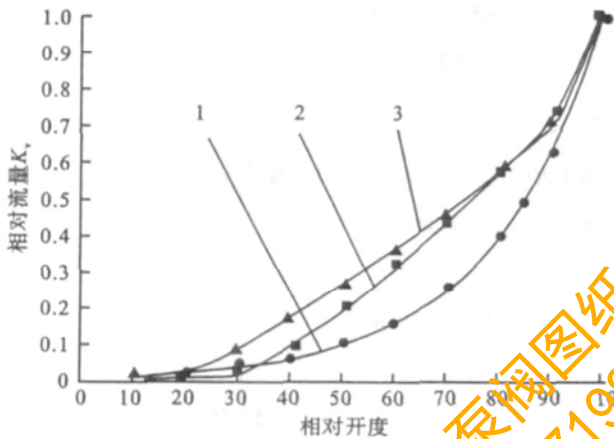


图 2 V 形球体调节球阀



1. 可调比 100 的理想曲线数据 2. 实验数据 3. 数值模拟数据

图 3 流量特性

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = e^{\left(\frac{l}{L} - 1\right) \ln R} \tag{1}$$

式中  $Q$ ——测点流量,  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $Q_{\max}$ ——最大流量,  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $l$ ——测点的开度位移,  $\text{mm}$   
 $L$ ——最大位移,  $\text{mm}$   
 $R$ ——可调比 ( $R = Q_{\max}/Q_{\min}$ )

模拟模型的可调比  $R = 107.96/1.7743 = 60$  远小于理想的可调比 (理想可调比为 100), 即

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = e^{\left(\frac{l}{L} - 1\right) \ln 100} \tag{2}$$

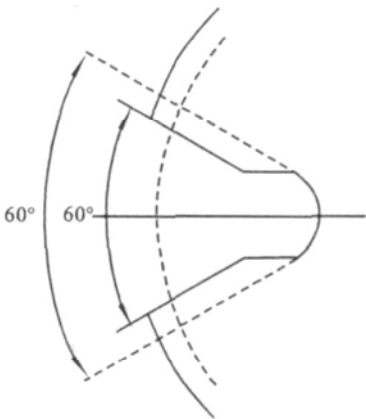


图 4 优化后的球体 V 形口形状

以相对开度  $l/L$  为横坐标, 相对流量  $Q/Q_{\max}$  为纵坐标, 建立相对开度和相对流量的理想流量特性曲线、数值模拟流量特性曲线和实测流量特性曲线 (图 3)。从图 3 中可以看出, 3 条曲线变化趋势比较一致, 说明数值模拟软件求解方程选择合理。在相同的相对开度下, 数值模拟的流量特性曲线和实测流量的特性曲线在理想特性曲线的上部, 数值模拟相对流量和实测相对流量大于理想相对流量。通过对相对流量的误差分析, 数值模拟的结果与理想状态下的结果最大的误差是 80% ( $(0.45 - 0.25) / 0.25 = 80\%$ ), 其误差大于 GB/T 17213.2-2005 的规定。所以需要进一步分析三条曲线变化趋势, 对式 (2) 进行一次求导, 得出理想特性曲线的斜率为

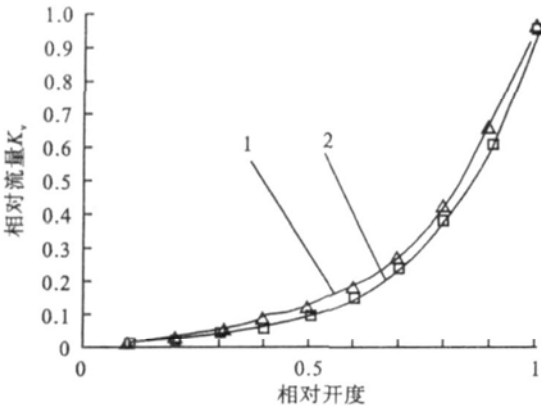
$$\frac{d\left|\frac{Q}{Q_{\max}}\right|}{d\left|\frac{l}{L}\right|} = \ln 100 \frac{Q}{Q_{\max}} \tag{3}$$

由式 (3) 看出, 当可调比  $R$  和最大流量  $Q_{\max}$  一

可减小相对流量的变化率, 由此可以达到优化的目的。

### 5 结构优化

球体 V 形口的优化结构如图 4 所示, 图中实线为优化后的 V+U 形切口的开口形状, 虚线为未优化时的结构, 两种开口位置距球阀边缘的距离相等, 开口角都为  $60^\circ$ , 优化后的切口横截面积小于优化前的面积。通过数值模拟分析, 得到优化后的流量特性曲线 (图 5)。球体 V 形口优化后, 流量特性曲线和理想特性曲线更接近, 在小开度下的数值更加



1. 球体 V 形口优化后的相对流量 2. 可调比 100 的理想相对流量  
图 5 优化后的相对流量与理想的相对流量的比较

表 1 优化后的曲线与理想曲线的数据对比

相对开度 $K_v$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
理想曲线数据	0.0158	0.0251	0.0398	0.0630	0.1	0.1584	0.2391	0.3981	0.6309	1
优化后的数据	0.0136	0.0275	0.0452	0.0701	0.1107	0.1759	0.2775	0.4337	0.6805	1
误差	16.1%	8.87%	11.9%	11.2%	10.7%	11.1%	10.5%	18.9%	8.3%	0

实验的数据变化趋势相对一致，所以 CFD 软件适合模拟计算流体通过阀门的流量系数。

(2) 数值模拟计算可以人为设定流体的性质，改变影响流体流动的一些参数，优化模型的结构来改变阀门的流动特性。

(3) 通过数值模拟计算，优化设计模型的结构，改变流通的截面积，使得通过阀门的流量特性曲线与理想的流量特性曲线趋势接近。

(4) 数值模拟计算以及优化设计，为制造具有理想的调节特性的阀门提供了设计依据，从而节

趋近于理想曲线的数值，在中间开度下，数据模拟流量特性在理想特性曲线的上部，数值模拟相对流量稍大于理想相对流量。优化后的 V 形调节球阀的可调比  $R = 107.43 / 1.167 = 92$ ，较优化前有了很大的改善。表 1 所示的是优化后的相对流量与理想相对流量的数据对比。优化后的数据与理想的数据最大的误差为 16.1% (即在相对开度为 10% 时)，误差小于 GB/T 17213.2-2005 的规定。

6 结语

(1) CFD 数值模拟计算软件可以计算 V 形调节球阀的流量，得出不同开度下相对流量的变化，与

省了大量的实验时间，节约了制造成本，缩短了新产品从开发研究到制造生产的周期。

参 考 文 献

[1] 吴石, 张文平. 阀门流场的数值模拟及流噪声的实验研究 [J] 阀门, 2005 (1), 7-10  
[2] 刘刚, 方金春, 雍歧卫. 调节阀动态特性的数值模拟 [J] 阀门, 2004 (4), 8-14  
[3] 吴国熙. 调节阀使用与维修 [M] 北京: 化学工业出版社, 1999  
[4] 付卫东, 袁修干, 等. 调节阀流量的计算方法 [J] 阀门, 1999 (1), 4-6  
[5] GB/T 17213.2-2005 工业过程控制阀 [S]  
(收稿日期: 2008.11.27)

诚 聘

浙江凯斯通阀门有限公司位于“中国泵阀之乡”温州瓯北五星工业区，创办于 1988 年，是引进配套阀门制造公司，拥有大中型设备 180 余台。企业发展始终立足于科技创新，公司已通过了 ISO 9001、API 和 CE 产品认证，并通过国家 AZ 产品安全注册。公司主要产品有闸阀、截止阀、球阀、止回阀、高温耐磨衬里闸阀、氧气专用阀和抽气止回阀等，产品执行 GB、API、ANSI、JIS、DN 和 BS 等标准，产品远销美国、日本、德国及东南亚等国家和地区。

根据公司生产发展的需要，现诚聘球阀设计工程师 2 名，要求大专以上学历，具有 3 年以上的阀门产品设计经验和实践经验，掌握球阀设计方法和设计理论，熟练应用 CAD 制图及计算机通用软件。

浙江凯斯通阀门有限公司

联系人: 滕先生 电话: 13605879018 0577-67310578 67317578 (传真)

地址: 浙江省温州市瓯北五星工业区 邮编: 325105 E-mail: kts@kts.com.cn