

## 仪表技术

# 水压锥阀阀口气穴数值模拟与可视化研究

杨和梅 陈云富

(南京农业大学工学院,南京 210031)

**摘要** 气穴是研制水压阀存在的主要难题。认识阀口形状与气穴的关系,避免产生气穴现象极其重要。应用有限体积数值计算方法针对阀座倒角长度变化对水压阀阀道内流场的影响进行数值模拟和可视化研究,得到了一些有益的结论:倒角长度的改变对阀口间隙以及阀芯锥面与柱面相接的地方的负压会产生比较大的影响。

**关键词** 水压阀 气穴 阀口

**中图法分类号** TH137.52; **文献标志码** A

水压驱动技术作为人类可持续发展的一项环保、节能新技术,正在不断发展,锥阀是作为水压控制系统不可缺少的元件,其性能对整个系统的性能起着至关重要的作用。由于阀是通过控制流体流动来操作系统的,因此,阀内的流体流动状态就成为决定阀操作性能最为重要的因素。随着水压元件开发的发展,阀产品压力和流量达到了新的高度,高雷诺数,湍流、空化等成为阀口水流动的主要特征,水空化产生的空泡的高蒸汽含量,使得水的空化有比油具有不同的空化特点。在水压阀口下游附近有大量的水蒸气泡溃灭。水比油有较高的密度和较大的体积弹性模量,因而加剧了空泡溃灭时的水锤效应,且水的低粘度对压力波的衰减效果差,导致了水压阀口产生了空化噪声和压力波动比油压阀的情况要剧烈。由于有空泡的存在,水压元件阀口的空化流动势必增加阀口流动阻力,从而影响阀口的压差 - 流量特性。空泡溃灭时产生冲击波和微射流,空泡在固体壁面溃灭导致材料的剥蚀。总之由于水的饱和蒸汽压力、含气量、粘度、密度和体积弹性模量等物理化学特性使空化不仅易于产生,而且空化的气蚀、噪声、振动和压力流量的变化等负面效应更为显著<sup>[1-4]</sup>。这些正是研制水压阀存在的主要难题,因此认识阀中产生气穴的状

况、气穴与阀口形状的关系,以避免产生气穴现象是极其重要的事情,有限体积数值计算方法是一种可行而有效的流场计算法,本文主要对阀座倒角长度变化对水压阀阀道内流场的影响进行数值模拟和可视化研究。

## 1 几何建模与网格划分

锥阀按使用情况分外流式和内流式两种,本文选择外流式作为研究对象如图1所示,外流式锥阀水流流动方向从下阀腔流入从上阀腔流出<sup>[5]</sup>。由于锥阀结构型式繁多,而且具体尺寸也是根据实际应用情况所定;没有统一的规格,因此本文仅对锥阀阀口最基本的结构进行建模,其它辅助结构的影响不予考虑。

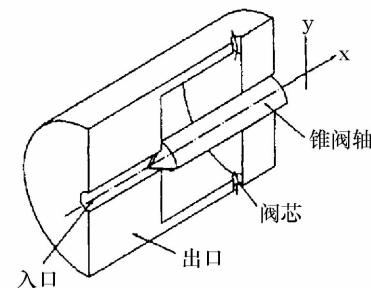


图1 外流式水压锥阀结构简图

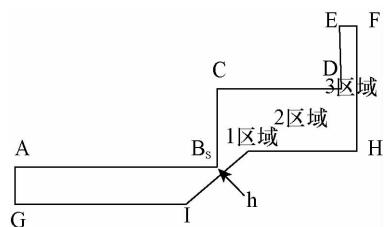


图2 计算几何模型图

由于水的压缩性是非常小的,压力每增加101.3 kPa时,其体积变化不到万分之一,因而在计算中完全可以忽略压缩性的影响,按不可压缩处理,并假定水为粘性牛顿流体。计算中不考虑流体重力的影响。以图2所示的流动区域作为求解区域,建立计算所需的CFD锥阀模型,锥阀内的实际流动应该是三维的,但考虑到流动的特性,将阀内流动近似为二维流动,根据锥阀内流动对称性原理,只取流动区域的一半作为计算对象,结构参数为进口直径 $d=12\text{mm}$ ,阀口间隙 $h=\sqrt{2}\text{ mm}$ 、阀芯半锥角 $\alpha=45^\circ$ ,出口为EF,进口为AG,AB=75 mm、BC=12 mm、CD=18 mm、DE=6 mm、EF=2 mm、FH=15、GI=71 mm。对计算区域进行网格划分,由于在阀口节流面附近流速、压力变化很大,所以此处网格特别予以细化。根据雷诺数可以判断阀口的流动为紊流,故采用k-ε紊流模型;流动基本方程采用圆柱坐标下的连续方程、圆周方向的动量方程、径向动量方程、轴向动量方程、气相体积分数方程。采用有限体积法离散计算域,对流项采用迎风差分格式,扩散项采用中心差分格式;计算方法采用非结构化交错网格的SIMPLE算法。在边界条件方面采用速度进口、压力出口。

在水压阀的二维CFD模型中,选用纯水作为流动介质进行解析计算。其物理参数如表1所示。

表1 物理参数

介质类型	参数		
	密度 $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	动力粘度 $/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	饱和蒸气压 $/(10^3\text{Pa})$
纯水	997.56	0.001	$2.34 \times 10^3$

## 2 计算结果与分析

在入口速度为4 m/s,出口为0.1 MPa的相同边

界条件下,对阀座倒角长度 $s$ 分别取为 $\frac{\sqrt{2}}{2}\text{ mm}$ 、 $\sqrt{2}\text{ mm}$ 、 $2\sqrt{2}\text{ mm}$ 时,锥阀阀口进行了CFD解析,得到了各自的压力分布图、速度分布图、气相体积分数图。

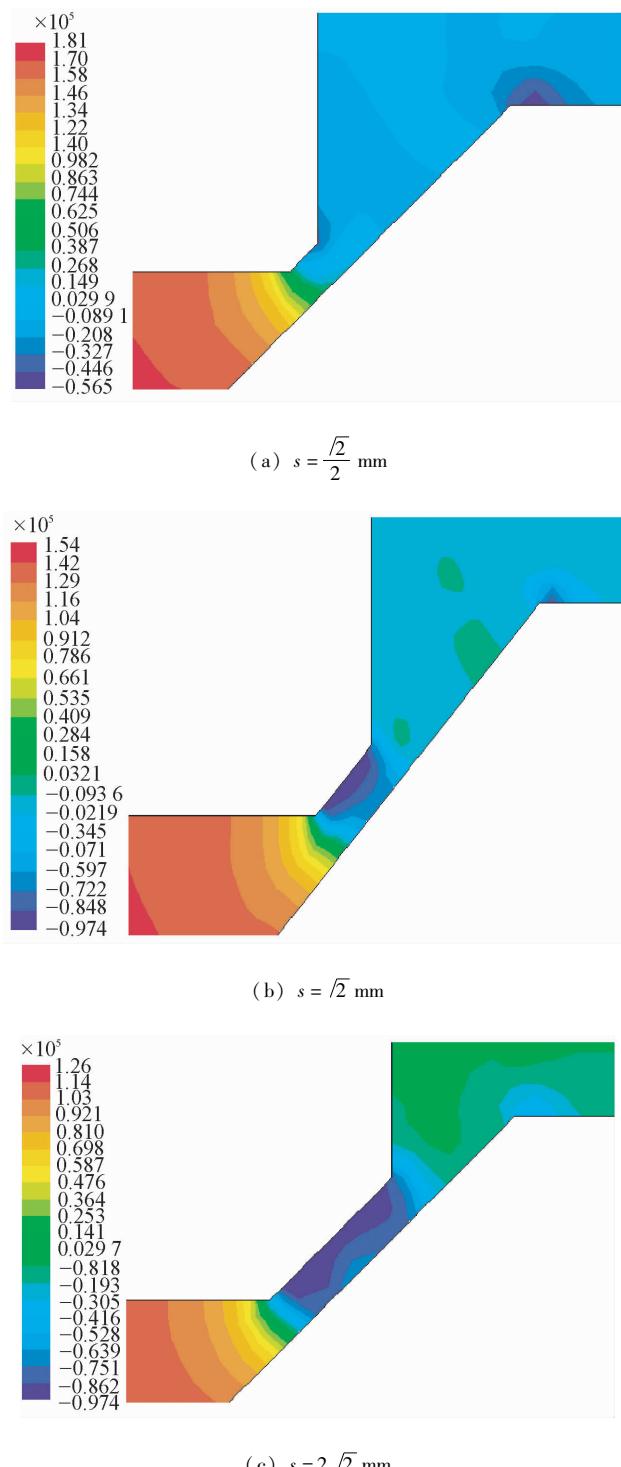


图3 压力分布图

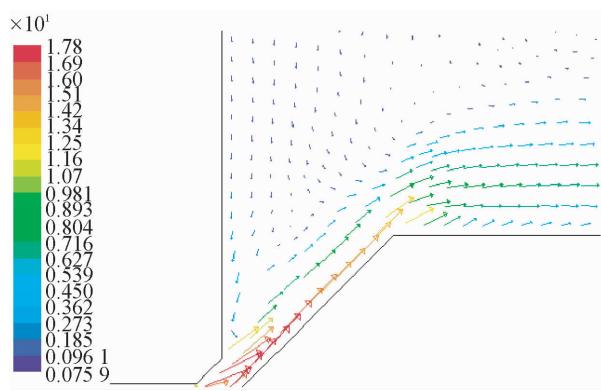
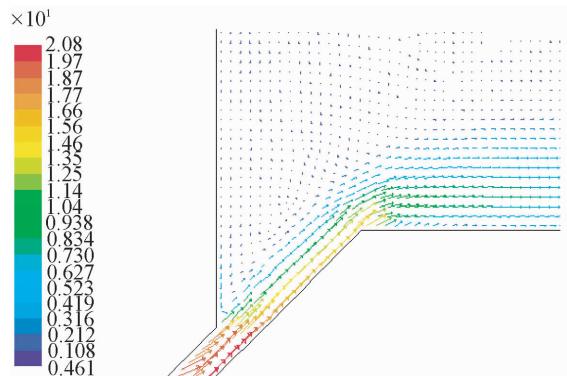
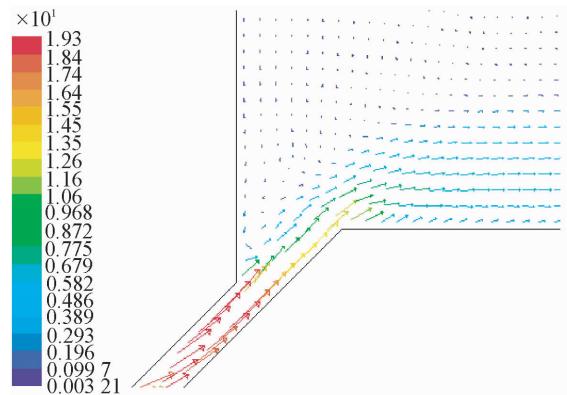
(a)  $s = \frac{\sqrt{2}}{2}$  mm(b)  $s = \sqrt{2}$  mm(c)  $s = 2\sqrt{2}$  mm

图 4 速度分布图

从压力分布图(图3)和阀芯表面上压力分布曲线(图5)上,可以看出:1区产生了很大的负压区,这是由于高速液体在通过阀芯和阀座的间隙时,产生了高速射流,而流线不能转折,所以在这个区域产生了回流,由此产生了负压。对比不同倒角长度

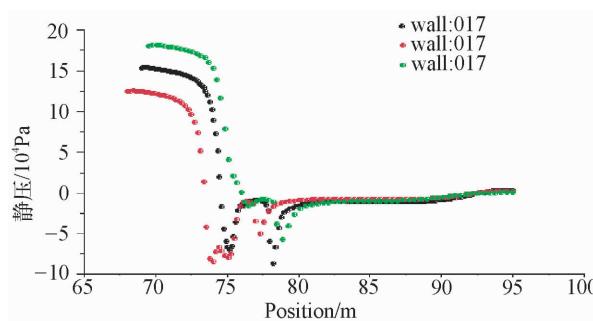


图 5 阀芯表面上压力分布曲线

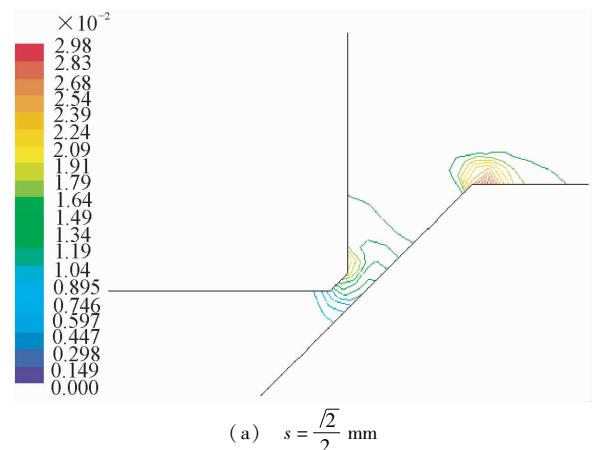
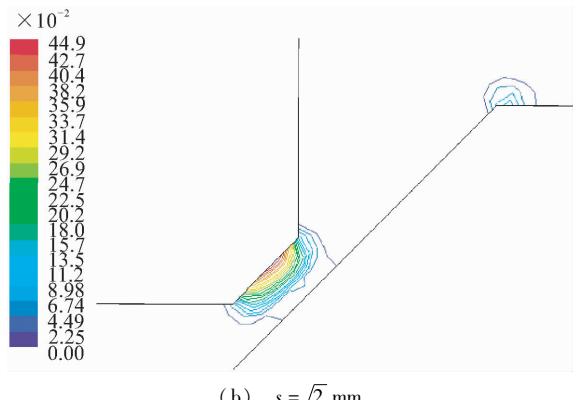
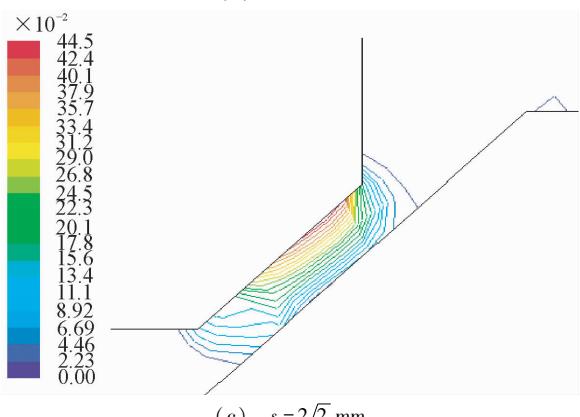
(a)  $s = \frac{\sqrt{2}}{2}$  mm(b)  $s = \sqrt{2}$  mm(c)  $s = 2\sqrt{2}$  mm

图 6 气相体积分数等值线分布图

$s$  条件下,发现在  $s = \frac{\sqrt{2}}{2}$  mm 时,1 区负压区比较大,而在  $s = 2\sqrt{2}$  mm 时,1 区负压区变小而且压力比  $s = \frac{\sqrt{2}}{2}$  mm 时高一点,这是由于在  $s = 2\sqrt{2}$  mm 时,倒角长度增加,阀口间隙压力损失增加,加上外流式阀又是扩散式的,所以到达相交位置时,射流的流速变慢,导致回流的强度减弱,这一点可以从速度分布图上得到证实。在  $s = \sqrt{2}$  mm 时,1 区负压区相对  $s = \frac{\sqrt{2}}{2}$  mm 时变小,但压力变大。对比三种不同

倒角长度 1 区负压区在  $s = \sqrt{2}$  mm 时最大,即  $s/h = 1$  时,这与文献[6]的结论:在  $s/h$  接近 1 时,因而最容易产生气穴结论基本相符。在阀口间隙的负压区随着倒角长度增加而变大,同时负压强度也变大,这就意味着也易产生气蚀,这一点可以从气相分布图上得到证实。

### 3 结论

通过对外流式水压锥阀模型进行二维流场解析,发现倒角长度的改变对阀口间隙以及阀芯锥面与柱面相接的地方的负压会产生比较大的影响,这些结果将为设计者在设计锥阀时,选取阀座的倒角长度  $s$ ,节流处间隙  $h$ ,提供一些参考;为了避免或尽量减少气穴产生的可能性,提供理论依据。

### 参 考 文 献

- 1 刘银水. 水压传动技术的特征与新进展. 液压与气动, 2006;(2): 66—70
- 2 温燕杰. 水压控制阀的发展现状与展望. 机床与液压, 2006;(11):230—234
- 3 李碧海. 水压阀关键技术的研究. 润滑与密封, 2004;(5): 132—133
- 4 刘水银. 水压阀的研究与发展. 液压与气动, 2001;(5):10—13
- 5 王艳珍. 水压锥阀流场的 CFD 解析. 机械, 2003;(5):20—22
- 6 乔中华. 液压锥阀的气穴研究. 太原重型机械学院学报, 2001;(3):34—36

## Cavitations Simulation and Visualization Research of Water Hydraulic Poppet Valve

YANG He-mei, CHEN Yun-fu

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, P. R. China)

[Abstract] Cavitations is the major problems of designing water hydraulic valve, understanding the relationship between shape of valve and cavitations, avoiding cavitations is extremely important, The numerical simulation and visualization research of flow field is carried out to research relation between the flow field of poppet valve and the length of valve seat by finite volume numerical method. It is some useful conclusions: the negative pressure of the connecting place of cone and cylinder will produce relatively large effects with changing of length of valve seat and chamfer.

[Key words] water hydraulic valve      cavitations      valve port