

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2011.23.021

## 非能动梭式防水击止回阀的降噪特性研究

任予鑫, 朱建公, 向北平, 曾祥伟

(西南科技大学制造科学与工程学院, 四川绵阳 621010)

**摘要:** 分析黏滞流体阻尼器在非能动梭式防水击止回阀中的工作原理, 利用 ADINA 软件对非能动梭式防水击止回阀的流场进行仿真分析。结果表明: 非能动梭式防水击止回阀内液体的流速大小变化以及压力分布都是轴向对称的, 具有明显的减震降噪作用。建立非能动梭式止回阀的数学模型并在 MATLAB 中进行仿真, 结果表明: 黏滞流体阻尼器可以调整阀的开启与关闭时间, 使水锤的压力降到最低, 这与试验结果基本吻合。因此, 黏滞流体阻尼器可以有效削弱水击对压力管道的破坏作用, 这对保护压力管道有一定意义。

**关键词:** 非能动梭式防水击止回阀; 黏滞流体阻尼器; 降噪

**中图分类号:** TH137    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-3881 (2011) 23-074-3

### Research on the Noise Reduction Performance of Passive Shuttle-type Anti-water-attack Check Valve

REN Yuxin, ZHU Jiangong, XIANG Beiping, ZENG Xiangwei

(School of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010, China)

**Abstract:** The operating principle of the viscous fluid damper in passive shuttle-type anti-water-attack check valve was analyzed. The flow field of the check valve was simulated with ADINA software. The results show that the variation of velocity and the pressure distribution within the valve is axially symmetric and the function of noise reduction as well as the shock absorption is obvious. After modeling for the valve and simulating with MATLAB software, the results show that the opening and closing time can be adjusted by the viscous fluid damper, and the pressure of water hammer is made to reduce to the minimum, which is basically anastomosis with the experiment. Therefore, the water attack damage to pressure pipeline can be weakened effectively by the viscous fluid damper and it is significant for the protection of pressure pipeline.

**Keywords:** Passive shuttle-type anti-water-attack check valve; Viscous fluid damper; Noise reduction

水击是压力管道中一种重要的非恒定流。当压力管道中的流速因外界原因而发生急剧变化时, 如开关阀门过快, 突然停泵等, 引起液体内部压力迅速交替升降的现象, 这种交替升降的压力作用在管壁、阀门或其他管路元件上好像锤击一样, 也称为水锤。水击引发压力的升高或降低, 有时会达到很大的数值, 处理不当将导致管道系统发生强烈的震动, 引起管道严重变形甚至爆裂。因此, 在压力管道系统中, 必须研究防止和削弱水击作用的措施。

非能动梭式防水击止回阀针对泵突然停止或启动时引起的水击现象, 采用黏滞流体阻尼器调节阀门启闭时间, 以缓冲液体内部压力的迅速交替升降, 能够使水锤的压力降到最低值, 从而达到了保护压力管道系统的目的, 同时起到了明显的减震降噪作用。

#### 1 非能动梭式防水击止回阀与旋启式止回阀的结构与工作原理

##### (1) 旋启式止回阀的结构与工作原理

旋启式止回阀的阀座是焊在阀体内的, 阀瓣呈圆盘状, 摇杆靠阀座上一支点旋转来实现阀门的开启与关闭。启闭件为旋转运动, 密封副加工工艺状态和工作状态不一致, 阀瓣对阀座的关闭冲击不对称, 很难实现良好的密封, 密封试验泄漏量较大。启闭件行程很长, 因此关闭较慢, 易产生流体冲击, 同时密封副间撞击、震荡、异响严重。如图 1 所示。

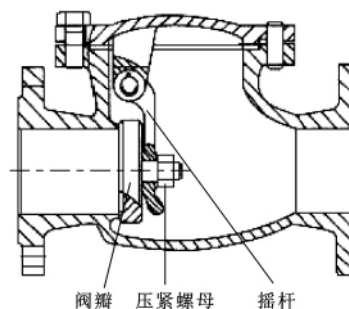


图 1 旋启式止回阀结构原理图

收稿日期: 2010-11-21

作者简介: 任予鑫 (1985—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事液压系统设计与控制的研究工作。E-mail: ryxyj@163.com。

## (2) 非能动梭式防水击止回阀的结构与工作原理

非能动防水击梭式止回阀动作原理: 依靠压力管道系统自身的压力流、压力差, 以实现系统自身能量驱动阀的开启与关闭, 不需外设动力源和能动设备。梭式防水击止回阀是与管道轴心线完全对称、平衡的轴流式启闭装置, 启闭副同轴贯流于阀体轴线, 阀瓣作直线往复运动, 依靠正反向压力差推动阀瓣作启、闭状转换, 实现打开或关闭。利用黏滞流体阻尼器来缓冲水击对阀瓣的作用, 使梭式防水击止回阀产生的水锤压力降到最低值, 从而实现了阀瓣平稳地与阀座闭合, 实现良好的密封。如图 2 所示。

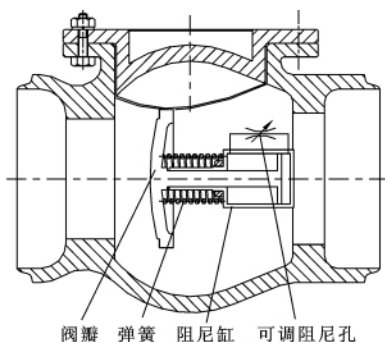


图 2 梭式防水击止回阀结构原理图

梭式止回阀的特点: 流阻小; 多元密封, 密封性能高; 轴流对称、任意角安装; 超低压启闭; 抗脉冲震荡、防水击; 体积小、质量轻。启闭件为往复直线运动, 据不同工况、介质采用多元密封 (径向、轴向、端面), 密封副的同轴、对称、平衡、平行运动, 加工状态与工作状态一致, 产品试验泄漏量远低于国内外标准, 可以实现零泄漏。根据压力管道系统的实际要求, 改变梭式防水击止回阀阻尼孔长度、阻尼孔直径以及阻尼材料, 使其启闭时间在 1~5 s 内可调。

## (3) 非能动梭式防水击止回阀与旋启式止回阀仿真实验对比

利用 ADINA 软件, 对梭式防水击止回阀和旋启式止回阀的流场进行分析, 可以分别得到它们的速度矢量图。在梭式防水击止回阀中, 液体流速大小的变化以及流线都是轴向对称的, 而且形成的负压区很小, 液体在梭式防水击止回阀中流动非常顺畅, 不会产生不平衡的压力, 同时梭式防水击止回阀内的压力也是轴向对称的。由于黏滞流体阻尼器在梭式防水击止回阀关闭过程中, 起到了明显的缓闭作用, 使水锤的压力值降到了最低, 能够起到明显的减震降噪作用, 如图 3 所示。

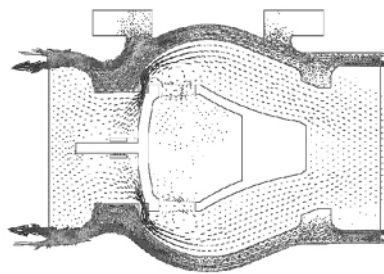


图 3 梭式防水击止回阀的速度矢量图

在旋启式止回阀中, 由于液体流速大小的变化和流线都是极不对称的, 并且形成的负压区较大, 这样在阀体内就会产生一个不平衡的冲击力, 引起阀体振动。由于旋启式止回阀内液体的流速大小不均衡, 液体的流动也同样会产生较大的噪声, 如图 4 所示。

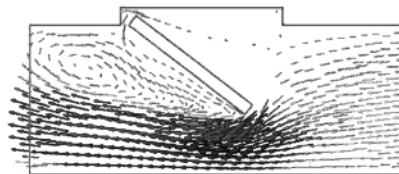


图 4 旋启式止回阀的速度矢量图

## 2 非能动梭式防水击止回阀的数学模型及特性分析

### 2.1 非能动梭式防水击止回阀的数学模型

选用梭式防水击止回阀 DN80, 阀瓣的行程为 50 mm。首先对梭式防水击止回阀中的黏滞流体阻尼器进行分析, 令阻尼活塞的位移为  $x$ , 阻尼活塞的加速度为  $a$ , 阻尼活塞的速度为  $u$ , 阻尼活塞面积为  $A$ , 通过节流小孔的流量为  $Q$ , 则有:

$$Q = A \frac{dx}{dt} = Au \quad (1)$$

设节流小孔直径为  $d$ , 长度为  $l$ , 流过小孔时的平均流速为  $v$ , 层流时小孔的压力损失为:

$$\Delta p = \frac{75}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} v^2 \quad (2)$$

式中:  $Re$  为雷诺数,  $Re = \frac{vd}{\nu}$ ;  $\nu$  为二甲基硅油的运动黏度;  $\rho$  为二甲基硅油的密度。

因为:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (3)$$

所以:

$$\Delta p = \frac{150\nu\rho l}{\pi d^4} Q = RQ \quad (4)$$

式中:  $R$  为节流小孔的液阻,  $R = \frac{150\nu\rho l}{\pi d^4}$ 。

阻尼活塞运动的阻尼力为:

$$F = \Delta p \cdot A = A^2 R \frac{dx}{dt} = A^2 R u = B u \quad (5)$$

式中:  $B$  为黏滞流体阻尼器的阻尼系数,  $B = RA^2$ 。

已知梭式止回阀的阀瓣和阻尼活塞的质量和为  $m = 0.629 \text{ kg}$ ; 阻尼孔的直径  $d = 1 \text{ mm}$ , 阻尼孔的长度  $l = 10 \text{ mm}$ ; 弹簧的刚度系数  $k = 0.77 \text{ N/mm}$ , 弹簧的预压缩量  $x_0 = 60 \text{ mm}$ ; 阻尼材料选取运动黏度  $\nu = 21 \text{ mm}^2/\text{s}$  的二甲基硅油, 其密度  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ; 阻尼活塞的面积  $A = 0.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。建立梭式防水击止回阀关闭时的动力学模型:

$$F(t) + k(x_0 - x) = ma + Bu \quad (6)$$

$$F(t) + kx_0 = m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + kx \quad (7)$$

故

$$F(t) + 46.2 = 0.629 \frac{d^2x}{dt^2} + 5563.69 \frac{dx}{dt} + 0.77 \times 10^3 x \quad (8)$$

## 2.2 非能动梭式防水击止回阀动态特性分析

对非能动梭式防水击止回阀动力学模型进行拉氏变换, 得到该系统的传递函数:

$$G(s) = \frac{1}{0.629s^2 + 5563.69s + 770} \quad (9)$$

以水锤的压力差与管道的自身压力之和作为输入信号, 如图 5 所示。因为实际上的水锤压力波在逐渐衰减, 第一个波峰为最大压力值, 所以从分析系统安全性的角度出发, 取最大压力值作为正弦波的峰值更为合理。阀瓣的位移作为输出信号。

利用 MATLAB 软件分析可以得到阀瓣的位移响应曲线, 如图 6 所示。梭式防水击止回阀完全关闭, 所需的时间为  $2.125 \text{ s}$ 。系统的响应过程快速平稳, 说明了黏滞流体阻尼器在梭式防水击止回阀的闭合过程中, 起到了很好的缓冲作用, 由于梭式防水击止回阀压力损失小, 使阀瓣平稳地与阀座闭合, 以实现良好的密封, 同时将阀关闭的噪声降到了最低。

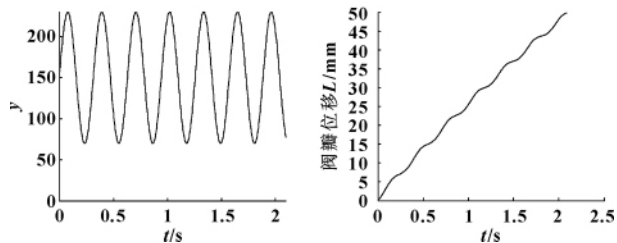


图 5 系统的输入信号

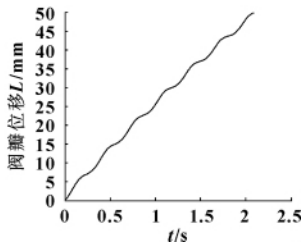


图 6 阀瓣的位移响应曲线

## 3 非能动梭式防水击止回阀的水锤试验

选用梭式止回阀 DN80, 压力管道中液体的流速  $v = 7 \text{ m/s}$  时, 共做两种结构形式的水锤实验。第一

种为无黏滞流体阻尼器梭式止回阀水锤试验, 如图 7 所示。第二种为梭式防水击止回阀水锤试验, 如图 8 所示。

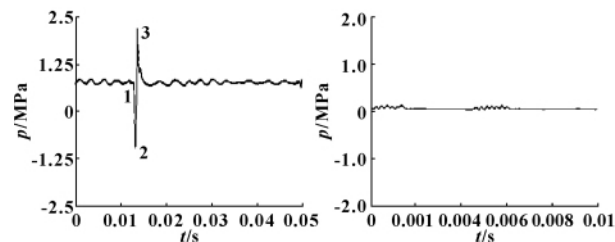


图 7 无黏滞流体阻尼器梭式止回阀水锤压力波形

从图 7 和 8 得知: 无黏滞流体阻尼器梭式止回阀产生的水锤压力差为  $3.13 \text{ MPa}$ , 梭式防水击止回阀所产生的水锤压力差为  $0.07 \text{ MPa}$ 。从实验数据可以看出: 梭式防水击止回阀产生的水锤压力降到了最低值, 并具有明显的减震降噪优势, 在压力管道系统中使用安全可靠。

## 4 结论

(1) 在重要工程压力管道系统推广应用非能动技术是系统安全性、可靠性的重要保证。非能动梭式防水击止回阀依靠正反向压力差, 推动阀瓣开启、闭状态转换, 能够安全可靠地实现打开或关闭。

(2) 通过仿真分析, 黏滞流体阻尼器在梭式防水击止回阀关闭过程中, 起到了很好的缓闭作用, 使阀的闭合过程快速平稳, 阀瓣平稳地与阀座闭合, 能够实现良好的密封。

(3) 通过对梭式防水击止回阀的水锤试验, 证明了梭式防水击止回阀将水锤的压力值降到了最低, 使压力管道系统安全可靠, 并且起到了明显的减震降噪作用。

## 参考文献:

- [1] ZENG Xiangwei, QIU Xiaoping, et al. Shuttle-type Passive Control System for Pressure Pipeline Conveying [C] // Proc 8th Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Florida, 2004: 446 - 451.
- [2] ZENG Xiangwei, CHEN Kun, QIU X P. The Burst Protectors for the Pressure Pipeline in Shuttle-type Passive Control System [C] // Proc 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Florida, 2005: 403 - 407.
- [3] 曾祥炜, 高树藩, 许力宏, 等. 一种新型气(液)动速度调节系统: 差流可调梭阀在球阀速度调节系统中的应用 [J]. 自动化仪表, 2002, 23(1): 38 - 41.
- [4] 王春行. 液压伺服控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 117 - 119.
- [5] 李松晶, 阮健, 弓永军. 先进液压传动技术概论 [M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2008: 171 - 175.