

基于流体压力的新型二位三通自动换向阀设计

宦海祥,许晓琴,吴乃领,曾 勇
(盐城工学院 机械工程学院,江苏 盐城 224051)

摘要:针对目前换向阀存在体积大,需借助外力工作及实时性差等缺点,设计了一种基于流体压力的新型二位三通自动换向阀。借助流体仿真软件 Fluent 仿真该换向阀在最大开度时,边界及出口处流体流动速度分布。仿真结果分析表明,该阀门流场流动稳定、设计合理、外观小巧、实时性好,为阀门的进一步优化设计提供依据。
关键词:二位三通自动换向阀;结构设计;速度分布
中图分类号:TH137 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)02-0010-04

换向阀通过推动阀芯相对阀体运动切换液体流动方向。换向阀因结构简单、开口可控,易于实现压力流量的控制,在液压传动系统中得到广泛的应用^[1]。但换向阀的工作需借助外力(如手动、电磁、液力、电液等),体积大、成本高,响应时间精确度又难以保证,且在复杂的液压系统中,需要多个换向阀时,对换向阀的控制会变得复杂,难以保证实时和准确性。本文旨在设计一种自动换向阀,借助流体自身压力精确实现阀门的换向,以达到提高阀门的工作效率,减小系统安装空间的目的。

本文详细介绍了该自动换向阀的零部件结构,及保证阀门密封性能采取的措施,并借助前处理软件 Gambit 对该新型阀门进行网格划分、Fluent 软件对阀门流场流速分布规律进行模拟分析。结果表明,该阀门流场流动稳定、设计合理、外观小巧、实时性好,且易于控制,特别适用于复杂的液压系统。

1 二位三通自动换向阀的设计

1.1 结构设计

设计的自动换向阀由入口端盖、复位弹簧、阀芯、阀体和出口端盖等 5 个部分组成,主要结构如

图 1 所示。入口端盖及出口端盖与阀体之间通过螺纹连接,同时充当弹簧底座的作用,弹簧的另一端连接在阀芯上^[2]。

该换向阀主要有两个工作位置,分别如图 1、图 2 所示。图 1 中(位置 1),流体通过 B 口流入 C 口后连接管道;图 2 中(位置 2),当流体通过管道进入 A 口时,阀芯受到弹簧和液压力的作用,克服所受摩擦力向右运动,B 口打开,流体流出,过程结束后在弹簧力的作用下阀芯复位回到位置一。

该阀门通过自身液压力和弹簧力的作用,在达到降低成本和节能的同时,实现换向,保证两种工作状态相互独立,流体不会渗漏,精确度高。二位三通自动换向阀的主要技术参数见表 1。

表 1 二位三通自动换向阀技术参数表
Table 1 Technical parameters of two-position and three-way automatic reversing valve

指标名称	技术参数
阀体长度/mm	60
进出油口直径/mm	6
额定压力/MPa	1.5
工作温度/℃	-50 ~ 120
理论流量/(L · min ⁻¹)	0.015
流速/(m · s)	0.02
阀芯行程/mm	5

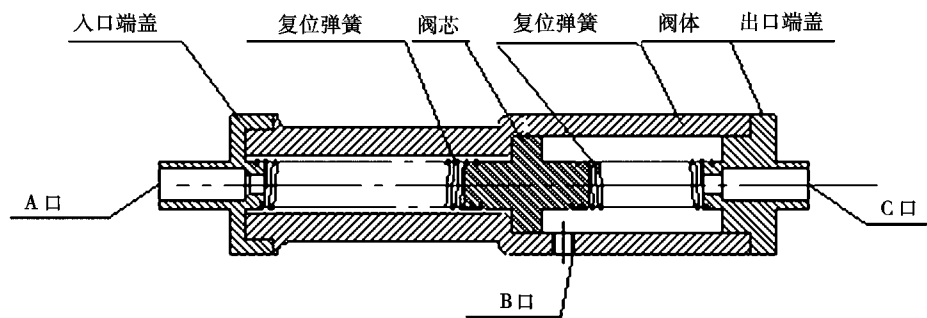


图 1 阀门初始位置全剖视图

Fig. 1 Full section view of the initial position of the valve

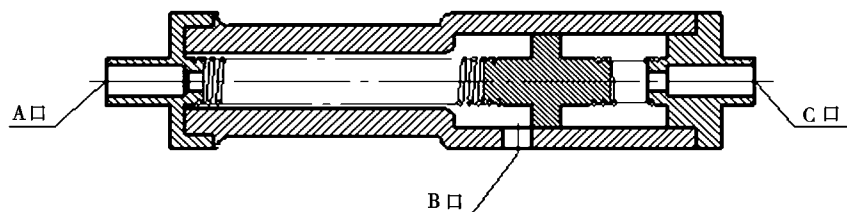


图 2 阀芯左位全剖视图

Fig. 2 Full section view of the left position of the valve

1.2 密封装置设计

为了防止在液压系统运行时液压油的过分泄漏或者将灰尘、水等杂质混入液压系统循环,设计必要的液压密封装置尤为重要。如果液压系统密封不到位,就会引起液压系统的泄漏增大,使系统的容积效率降低,液压油工作压力减小,严重时会导致液压系统停止工作。因此,综合考虑所设计的自动换向阀尺寸小、压力低、换向平稳性好的特点,在阀芯和阀体之间采用间隙密封的方式。

间隙密封是液压阀通常采用的密封方式之一,主要利用阀体和阀芯之间微小间隙形成的液流阻力,即利用液压油与密封面之间的张力及油液分子间的作用力实现密封。间隙密封具有结构简单和动作迅速的特点。为了进一步提高密封性能,本设计在阀芯上开 3 个如图 3 所示的环形平衡槽,此平衡槽能有效防止液压卡紧现象的发生,实现阀芯的自动对中。对于入口和出口端盖与阀体的连接处(用螺纹连接),采用耐油的丙烯酸脂类密封胶密封,能够很好地防泄漏。

2 模拟分析

2.1 数学模型

任何一种流体都具有一定的压缩性。在液压

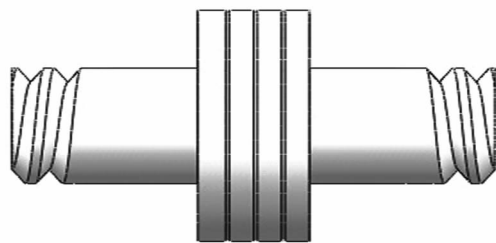


图 3 阀芯结构设计

Fig. 3 Design of the valve core

系统中使用的工作介质一般是矿物质抗磨液压油,相对气体而言,其密度变化非常小,可以近似认为是常数。这样的流体可认为是不可压缩粘性流体,是流体力学中最重要经典模型^[3]。本文阀体中液压油为 30#抗磨液压油,密度 $\rho = 8.6 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$,动力粘度 $\mu = 0.27 \text{ N/(m} \cdot \text{s)}$ (油温为 50 ℃时)。

假设油液在阀体内部作定常流动且流动状态为层流,液压系统在无分流和合流时,满足基于质量守恒定律的质量守恒方程和基于动量守恒定律的动量守恒方程^[4-5]。

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \mu_i) = 0$$

(1)

动量守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mu_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}[\mu \frac{\partial u_i}{\partial \mu_j} - \rho \overline{\mu_i' \mu_j'}] + S_i \quad (2)$$

式中: ρ 为流体密度, kg/m^3 ; u 为速度, m/s ; p 为压力, MPa ; t 为时间, s ; μ 为动力粘度, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$; S 为源项, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^2)$ 。

2.2 单元网格划分

单元网格划分是模拟分析的重要步骤。单元网格划分是将求解的整体连续计算区域划分成若干个互相独立的子单元, 单元的结构形式及尺寸

大小直接影响着后续有限元分析的精确程度。Gambit 软件是面向 CFD 的专业前处理软件, 有着全面的几何建模能力和功能强大的网格划分功能^[6]。

本文重点研究阀芯向右移动到最大位移处, 即将 B 口完全打开时阀内流体的流动情况。由于该新型换向阀具有对称性, 为简化模型, 采用 Gambit 软件对整个控制体内流体区域进行网格划分, 如图 4 所示。图 4 中, 采用平面 4 节点四边形 (Quad) 单元, 单元总数为 1 120, 总结点数为 1 224 个。

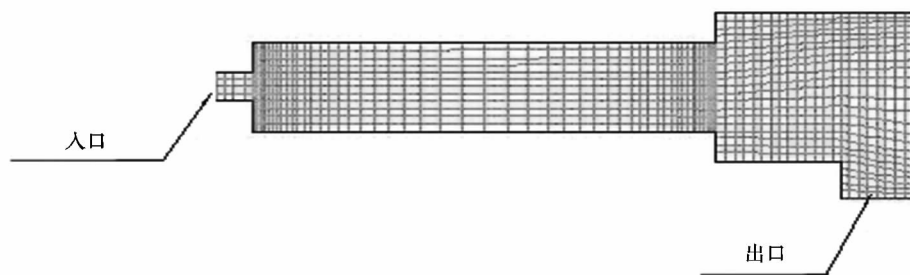


图 4 流体模型及网格划分

Fig. 4 Fluid model and mesh generation

2.3 边界约束条件及数值模拟方法

边界约束条件是运用流体运动方程求解域的边界时, 对数值计算具有重要影响的因素。根据液压阀模型, 本阀体的边界条件设置如下:

(1) 入口边界约束设置在速度入口处, 数值为 0.02 m/s ;

(2) 由于有限元模拟前无法预知阀口出口压力及速度分布, 所以将出口边界约束设置为出口流动;

(3) 针对液流的粘性, 边界约束常选择固壁无滑移方式, 也就是实际流动的液体与固壁的相对速度为 0。

模拟分析选用 Fluent 5/6 求解器, 运用 SIMPLE 算法模拟压力与速度耦合方式, 分别采用标准格式和一级迎风格式计算压力方程与动量方程的离散。

3 模拟结果及分析

残差收敛精度设置: 迭代次数选择 200, 收敛效果很好, 迭代 80 次后收敛。阀门处于最大开度时, 阀体内流场速度等值线分布如图 5 所示。由图 5 可以看出, 入口处液流速度较大, 管壁临界层

的速度为 0; 阀体内的流动液体沿与管件法向平行的方向作直线运动, 流动平稳, 速度和压力分布均匀, 无明显涡流和二次流等不良现象。

实际流体是具有黏性的, 当液流处于层流且管内液流速度较低时, 流体的黏性力起主导作用, 流体质点除在液压管法向运动外, 不能在液压管径向作大范围的移动, 因此流体沿液压管道方向呈抛物线对称分布^[7]。

图 6 所示为阀门出口即 B 口处不同质点速度分布, X 轴代表出口处从 $0.035 \sim 0.039 \text{ mm}$ 不同位置处的质点, Y 轴表示速度值。由图 6 可以明显地看出, 速度沿液流方向呈抛物线形分布, 在轴线中心 0.037 mm 处速度达最大值 0.014 m/s , 在临近管壁处速度近似为 0, 且速度稳定, 无回流现象。

显然, 该阀门可以使流体充分流动, 且运动平稳, 流体沿程损失小, 符合设计要求。

4 结论

(1) 针对目前换向阀存在体积大, 需借助外力工作及实时性差等缺点, 设计一种依靠自身液压力和弹簧力作用实现换向的新型二位三通自动

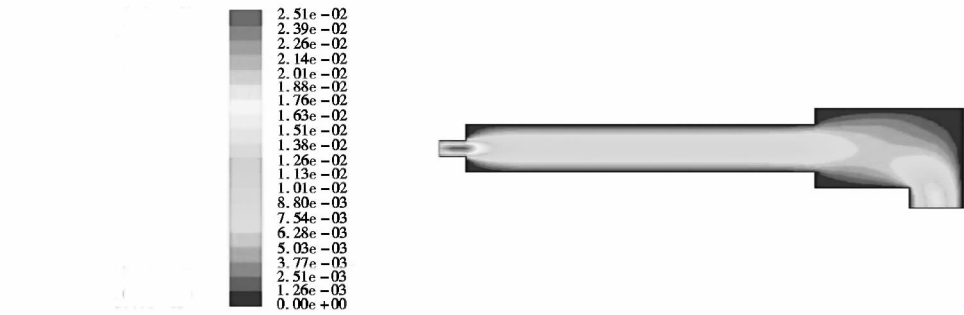


图 5 阀体内流场速度等值线分布图
Fig.5 Velocity fields contour maps of the valve body

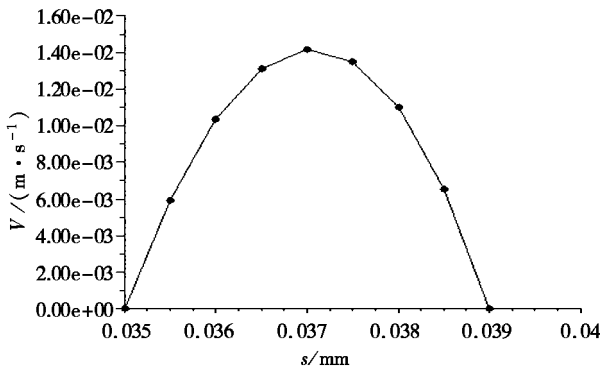


图 6 出口处速度分布图
Fig.6 Velocity contour of valve outlet

参考文献:

[1] 杨文生. 液压与气压传动[M]. 北京:电子工业出版社,2007.

[2] 濮良贵,纪名刚. 机械设计[M]. 8 版. 北京:高等教育出版社,2006.

[3] 付文智,李明哲,蔡中义,等. 滑阀式换向阀三维流体速度场的数值模拟[J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39(1):149-152.

[4] 王福军. 计算流体动力学分析:CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

[5] 王志坚,佟亮,李璐璐,等. 基于 CFD 的离心泵内部三维流动数值模拟和性能预测[J]. 流体机械,2012,40(6):14-18.

[6] SUN J A, ZHU Z Y. Upwind local differential quadrature method for solving incompressible viscous flow[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,2000,188(1):495-504.

[7] 梁德旺. 流体力学基础[M]. 北京:航空工业出版社,2009.

Design of a New Type of Two-Position and Three-Way Automatic Reversing Valve Based on Fluid Pressure

HUAN Haixiang, XU Xiaoqin, WU Nailing, ZENG Yong

(School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: In view of the disadvantages of large volume, working by external force and poor real-time performance, a new type of two-position and three-way automatic reversing valve based on fluid pressure is designed. The fluid simulation software Fluiant is used to simulate the valve in the maximum opening, and obtain the velocity distribution of fluid flow at boundary and exit. The simulation results show that the flow stability of the valve flow field, reasonable design, compact appearance, good real-time performance. The basis for the further optimization design of valve is provided.

Keywords: two-position and three-way automatic reversing valve; structure design; velocity distribution

(责任编辑:李华云)