

# 基于 CFD 的喷气织机电磁阀特性分析

邓若愚, 金玉珍, 胡旭东

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

**摘要:** 为了提高喷气织机引纬的效率,对电磁阀综合特性进行优化分析。首先根据电磁阀的结构特性建立电磁阀响应的仿真模型,分析动铁芯不同工作气隙宽度与开启、闭合响应时间的关系,然后利用 CFD 仿真方法分析电磁阀的内部流场,得出不同工作气隙下电磁阀出口流速,最后综合考虑电磁阀响应时间和出口流速,提出电磁阀优化设计的参考方案。

**关键词:** 电磁阀; 工作气隙; 响应时间; 出口流速

**中图分类号:** TS103.134

**文献标志码:** A

## 0 引言

喷气织机依靠电磁阀控制压缩空气使纬纱在主喷嘴中完成加速过程,整个引纬过程在数组由电磁阀控制的辅助喷嘴的射流协助下完成。电磁阀作为控制辅喷嘴动作的重要执行器件,其响应特性对于喷气织机效率的影响自然不容忽视。电磁阀根据控制信号执行启闭操作,控制喷气织机引纬气流,其功率消耗较低且便于操作,但其响应性能还有较大的提升空间,因此受到国内外有关研究机构的重视<sup>[1-2]</sup>。Chu Liang 等<sup>[3]</sup>对商用车 ABS 中电磁阀的响应特性进行了仿真研究,利用在 Matlab/Simulink 仿真软件中建立的仿真模型研究了各参数对电磁阀响应特性的影响。随着计算流体力学的迅猛发展,CFD 方法已广泛用于各种流体仿真<sup>[4]</sup>。通过该方法对阀体内部流场的流动状态进行数值模拟分析,已成为当今气动领域研究热点<sup>[5]</sup>。杨国来等<sup>[6]</sup>运用 Fluent 流体仿真软件对节流阀内部流场进行仿真研究,揭示了开度较小时节流阀内部的流场情况。目前大部分研究主要针对电磁阀的动铁芯运动特性进行仿真分析<sup>[7]</sup>,缺乏对电磁阀流场特性的仿

真分析,因此不利于优化参数的选择。

本研究在深入分析电磁阀电磁铁部分和内部流体流场部分的基础上,对电磁阀的响应特性和流场分布进行综合分析,探讨电磁阀综合性能在不同工作气隙条件下的变化情况,为电磁阀结构的优化提供参考。

## 1 电磁阀的工作原理

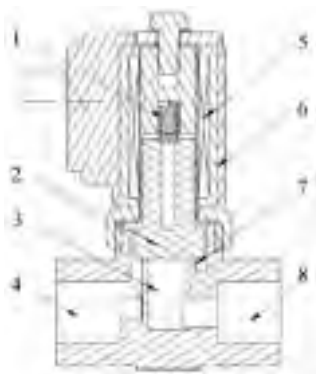
电磁阀、分流管道及辅喷嘴组成了喷气织机的辅喷嘴组合,电磁阀根据驱动信号控制气路的开启和闭合,该辅喷组合中五个辅喷嘴的内流道是相连的,同组中所有辅喷嘴均在同一时间进行喷射<sup>[8]</sup>。电磁阀的驱动电压信号被划分为激励电压和维持电压,在电磁阀的气路开启过程中,首先接收到较高的激励电压,使电磁阀快速开启,然后切换至较低的维持电压,以保证线圈电流处于较低的状态<sup>[9]</sup>。在额定功率下运作的电磁阀,其开启响应通常为 8 ms,其闭合响应通常为 15 ms。该电磁阀正常工况下的压力通常为 0.5 MPa,最高耐受压力可达 0.7 MPa。喷气织机电磁阀是由电信号直接控制的气动执行装置,主要分为电磁部分和气路部分,其结构示意图如图 1。

收稿日期: 2013-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51006090);浙江省高校重中之重学科人才培养基金(ZSTUMD2012B010);浙江理工大学科研启动基金(1003835-Y)

作者简介: 邓若愚(1986-),男,安徽淮北人,硕士研究生,主要从事喷气织机电磁阀特性研究。

通信作者: 金玉珍,电子邮箱: gracial101@yahoo.cn



1. 复位弹簧, 2. 动铁芯, 3. 气室, 4. 进气口,  
5. 电磁线圈, 6. 磁导体, 7. 阀座, 8. 出气口

图1 电磁阀结构示意图

本研究中的使用的电磁阀为二位二通常闭型电磁阀。在开启阶段,驱动模块提供驱动电压给电磁线圈5,线圈产生电磁力并吸引动铁芯2,动铁芯向上运动直至完全打开,阀内气路连通;在闭合阶段,驱动电压消失,电磁力消失,因此动铁芯2在复位弹簧1的作用下向下运动,直至气路被截断。电磁阀

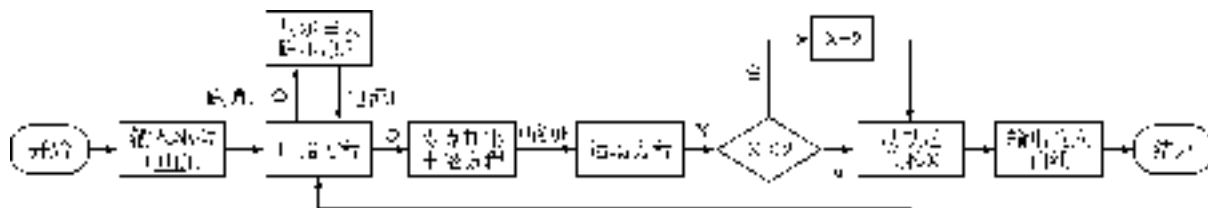


图2 电磁阀开启过程数值模型流程

在电磁阀闭合过程中,电压由维持电压降为零,由于维持电压较低,电感作用不明显,因此闭合过程不考虑电感。电源关闭后,线圈电磁力消失,电磁阀阀芯依靠弹簧回复力完成闭合过程,其中还存在粘性

把脉冲信号转换成执行动作的过程中,机械动作的响应在时间上会滞后于控制信号,这些时间上的滞后形成了电磁阀的响应时间<sup>[10]</sup>。在电磁阀的设计过程中,不仅需要考虑响应性能,还需要保证其流通性能。结合两种特性对电磁阀进行分析,既可以保证其驱动能力,也可以改进其流道结构。

## 2 电磁阀响应特性的分析

### 2.1 电磁阀数值模型的建立

首先建立电磁阀开启过程的数值模型,电磁阀的启动过程模型包含电路、磁路和运动学三个部分。根据电磁阀的工作原理建立电磁阀的数值模型,输入信号为单位阶跃信号。在建立数值模型之后,要分析仿真过程中各部分之间的相互关系,最后利用Matlab/Simulink 软件对其进行仿真计算<sup>[11]</sup>。该数值模型加入了位移反馈,使电磁力的计算更加精确,从而提高了模型的准确性。电磁阀开启过程数值模型流程如图2所示。

阻尼力。闭合仿真模型中仅包含铁芯运动方程和判断部分。在阀芯闭合的过程中,首先维持电压断开,然后阀芯在弹簧力的作用下从最大位移处运动至起始位置。电磁阀闭合过程数值模型流程如图3所示。



图3 电磁阀闭合仿真分析流程

### 2.2 不同工作气隙宽度的影响

电磁阀的电磁铁工作气隙分为两个主要部分,即铁芯的工作行程和残余气隙。在电磁阀完全开启之后,工作气隙仅包含残余气隙;当电磁阀完全闭合时,工作气隙则等于工作行程与残余气隙两者之和。本研究使用的电磁阀的铁芯工作行程远大于残余气隙宽度,因此在本仿真中假定残余气隙宽度为零,工作气隙即为工作行程。

在不同工作气隙的条件下,电磁阀响应时间存在着较大的差距。在激励电压为48 V、维持电压为

12 V 和复位弹簧预压缩量为1.5 mm 的条件下,将工作气隙分别调整为1、1.5、2、2.5 mm 和3 mm,仿真后对比不同工作气隙下响应曲线之间的区别。不同工作气隙对电磁阀开启响应时间的影响如图4所示,对闭合响应时间的影响如图5所示。

由图4和图5可以看出,随着电磁阀动铁芯工作气隙的增大,其开启响应时间和闭合响应时间都随之增长。与其他参数相比,动铁芯工作气隙的改变对电磁阀响应时间的影响较大。随着阀芯工作气隙的减小,电磁阀阀芯的工作行程减小,电磁力和弹

簧力都将处于较高的位置,因此减小阀芯工作气隙可以大幅度增大其响应速度。不同工作气隙对应的开启时间和闭合时间如图6所示。

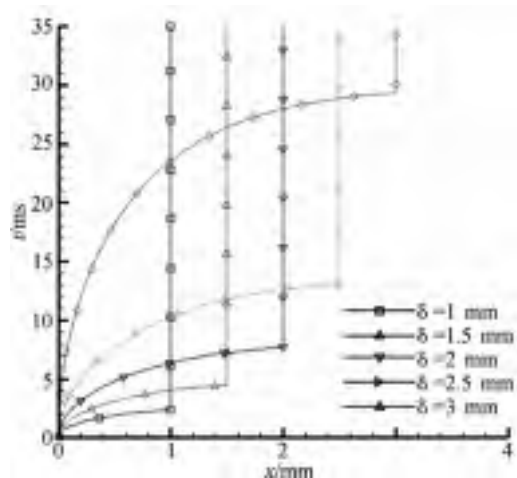


图4 不同工作气隙对开启响应时间的影响

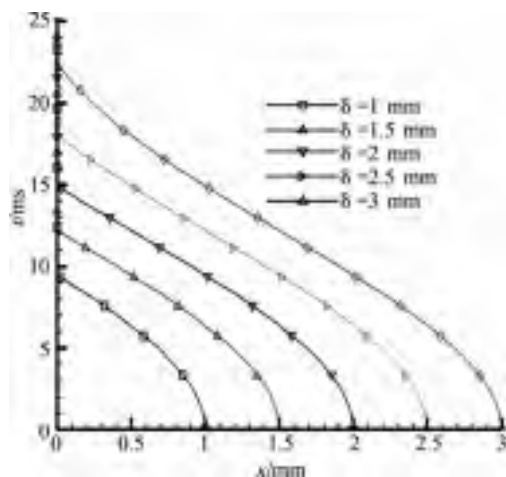


图5 不同工作气隙对闭合响应时间的影响

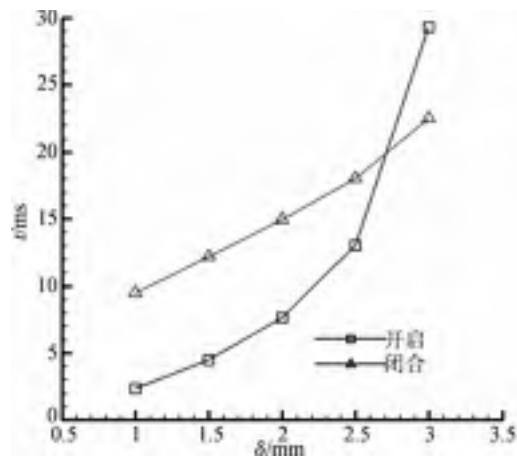


图6 不同工作气隙对应的启闭响应时间

由图6可以清楚地看到,伴随工作气隙的增长,电磁阀的开启时间和闭合时间都有所增大,而且电磁阀的开启时间的增长速度要大于闭合时间。根据

该图的数据可以得知,电磁阀的响应时间随着工作气隙的减小而减小。但考虑到加工成本和流道截面积的因素,工作气隙并不是越小越好,为了寻找最优解,在后面还将对电磁阀的流场特性进行研究,从而为电磁阀的设计提供参考。

### 3 电磁阀流场特性的仿真分析

#### 3.1 电磁阀的流场模型及网格划分

首先利用 Catia 软件对改进前电磁阀与辅喷嘴的组合流场进行三维建模,组合流场模型就是从电磁阀入口到辅喷嘴喷口之间的流道模型。图7为电磁阀与辅喷嘴的组合三维模型。



图7 电磁阀与辅喷嘴的组合三维模型

组合流道在 Catia 三维软件中绘制好三维模型后,将网格文件导入 Fluent 的前处理软件 Gambit 中进行离散化处理。组合流道的结构比较复杂,首先将流道划分为若干个较为规则的区域,然后分别对其划分网格。对于该网格的大部分计算区域,采用了六面体网格元素,其形状规则且计算精度高。对于少部分复杂结构,采用了四面体网格元素,其适应性好且划分密度较高,整个模型的网格数为 269 220,节点数为 119 119。

#### 3.2 Fluent 计算参数设置

将 Gambit 软件生成网格直接读入 Fluent,使用 3D 求解器对组合流场网格进行求解。导入网格后,对网格进行检查,然后光顺网格并交换单元面。由于组合流道内部流动的流速较小,可理解为微可压流动的流体,选择分离式求解器即可。采用可实现  $k-\epsilon$  湍流模型,并考虑热交换,选择能量方程。操作压强设为默认值,即为一个大气压,边界条件选择压力入口与压力出口。选择 SIMPLE 算法进行压力与速度间的耦合计算,在计算初期选用一阶迎风的离散格式,在前期计算的基础上改用二阶迎风以获得更加精确的结果。残差保持默认设置,勾选 plot 选项打开监视窗口,便于了解收敛情况。初始化并开始求解。设定迭代步数,进行迭代计算,直至达到收敛条件。

3.3 电磁阀组合流场的特性分析

目前,还有较多的喷气织机采用该种组合方式,由于一个电磁阀同时控制五个辅喷嘴,因此在一定程度上节约了电磁阀的使用。图8为入口压力为0.5 MPa,出口压力为一个大气压,电磁阀工作气隙为2 mm的情况下电磁阀与辅喷嘴的组合流场速度矢量图。



图8 电磁阀与辅喷嘴的组合流场速度矢量图

为了了解工作气隙对辅喷嘴射流的影响,对不同工作气隙下辅喷嘴喷口的平均流速进行研究。在不改变其他设定条件的情况下,分别建立了阀芯工作气隙为0.5、1、1.5、2 mm和2.5 mm的5个电磁阀结构模型,并分别对其进行网格划分,进口压强设为0.5 MPa,出口压强设为一个大气。组合流场辅喷嘴出口平均速度与工作气隙的关系如表1所示。

表1 不同工作气隙对应的喷嘴出口流速

工作气隙 $X_{\max}/\text{mm}$	0	0.5	1	1.5	2	2.5
出口流速 $V/(\text{m/s})$	0	257.72	426.94	490.31	511.43	528.07

由表1可以看出,电磁阀的工作气隙与喷嘴出口流速呈非线性关系。在工作气隙从0增大到1.5 mm的情况下,出口速度增长幅度较大,当工作气隙大于1.5 mm时,工作气隙的变化对出口速度的影响比较小。综合考虑响应时间和出口流速来对电磁阀进行优化设计,由于响应时间随气隙的增大而增大,因此工作气隙的优化方案由原来的2 mm改为1.5 mm。

4 结 论

a) 随着工作气隙的增大,电磁阀的启闭响应时间均有所增大,而且电磁阀的开启时间的增长速度

大于闭合时间。

b) 电磁阀的工作气隙与喷嘴出口流速呈非线性关系。在工作气隙从0增大到1.5 mm时,出口速度增长幅度较大,当工作气隙大于1.5 mm时,工作气隙的变化对出口速度的影响比较小。

c) 响应时间随气隙的增大而增大,出口流速随着气隙的增大而增大。综合考虑设计参数对响应时间和出口流速的影响,电磁阀工作气隙的优化方案可从2 mm改为1.5 mm。

参考文献:

[1] 杜发荣,黄娟.电喷系统高速电磁阀的仿真及响应分析[J].科学技术与工程,2011,11(5):1180-1183.

[2] 金玉珍,韩涛,胡旭东,等.纱线飞行的理论分析与试验研究[J].工程热物理学报,2009,30(8):1309-1311.

[3] Chu Liang, Hou Yanli, Liu Minghui, et al. Study on the dynamic characteristics of pneumatic ABS solenoid valve for commercial vehicle[C]//Proceedings of the 2007 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007: 641-644.

[4] 刘承文,金玉珍,胡旭东,等.喷气织机辅喷嘴气流场数值模拟及特性分析[J].现代纺织技术,2011(4):1-5.

[5] 宋治伟,崔宝玲,尚照辉,等.截止阀启闭过程内部瞬态流动特性[J].工程热物理学报,2012,33(6):957-960.

[6] 杨国来,杨长安,刘志刚,等.节流阀小开度下流场仿真和最小稳定流量研究[J].机床与液压,2009,37(9):109-111.

[7] 王益轩.喷气织机高频电磁阀的动态设计[J].纺织器材,2007,34(5):12-14.

[8] 汪静,金玉珍,胡旭东,等.基于Win CE的喷气织机人机交互系统设计[J].纺织学报,2010,31(7):122-126.

[9] 金玉珍,吴震宇,武传宇,等.基于CAN总线喷气织机控制系统的研制[J].纺织学报,2009,30(2):117-120.

[10] 汪志刚,张敬国,陈勤学.电控柴油机用高速电磁阀的仿真研究[J].机电设备,2003(4):22-26.

[11] Deng Ruoyu, Jin Yuzhen, Jin Yingzi, et al. Research on the response characteristics of solenoid valve of the air-jet loom by Matlab[C]//The 4th Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science. Busan, Korea, October 14-17, 2012.

(下转第 502 页)

## Research on Establishment of “Double-role Driving” Work Pattern of Self-owned Clothing Brand and Implementation Countermeasures

XIA Fan

(School of Fashion, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Through the multi-dimensional discussion of the contribution of “double-role” to the development of clothing industry in its historical formation, the relation between the formation of world five major fashion cities and “double-role” driving force and the dilemma of Chinese clothing industry, this paper designs “double-role driving” work pattern frame in allusion to the original power of enterprises with self-owned brand, discusses the importance and necessity of “double-role driving” work pattern in the development of clothing enterprises with self-owned brand, deeply studies and analyzes the status of imbalance between “patterner” talents and designer which is the main obstacle for the implementation of “double-role driving” in clothing enterprises, puts forward the idea of solving problems at different layers-the state, industry and enterprise and patterner and expects to produce influence on and promote enterprises with self-owned brand under transition and upgrading.

**Key words:** patterner and designer; clothing brand; originality; work pattern

(责任编辑: 张祖尧)

---

(上接第 490 页)

## Analysis on Characteristics of Magnetic Valve of Air-jet Loom Based on CFD

DENG Ruo-yu, JIN Yu-zhen, HU Xu-dong

(School of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To improve the efficiency of wefting insertion of air-jet loom, it is very necessary to conduct optimization analysis on overall characteristics of magnetic valve. This paper first establishes a simulation model of magnetic valve response according to structural characteristics of magnetic valve, analyzes the relationship between different widths of working air gap of movable iron core and open-close response time, then analyzes the inner flow field of magnetic valve with CFD simulation method and obtains the outlet velocity of magnetic valve under different working air gaps, and finally puts forward the optimization design proposal of magnetic valve for reference considering the response time and outlet velocity of magnetic valve.

**Key words:** magnetic valve; working air gap; response time; outlet velocity

(责任编辑: 张祖尧)