

锅炉蛇形管弯管机电液换向阀液动力影响因素仿真分析

胡旭明,刘昱杰

(中国特种设备检测研究院,北京 100029)

摘 要:针对液动力影响电液换向阀响应时间、换向精度等主要性能参数的问题,以锅炉蛇形管弯管机电液换向阀为例,推导并建立考虑径向间隙电液换向阀的液动力方程,利用AMESim建立其仿真模型,仿真分析不同径向间隙、阀套直径、系统流量等参数对阀液动力的影响。研究表明:随着主阀径向间隙增加,液动力逐渐增加;随着主阀阀套直径的降低,主阀液动力急剧增加;随着系统流量的增加,主阀液动力急剧增加。

关键词:AMESim;弯管机;电液换向阀;液动力;响应时间;径向间隙

中图分类号:TH137.5 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)06-0132-04

Simulation Analysis on Influence Factors of Hydraulic Force of Electro-hydraulic Directional Valve of Boiler Serpentine Tube Bender

HU Xuming, LIU Yujie

(China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100029, China)

Abstract: As the main performance parameters of electro-hydraulic directional valve like response time and reversing accuracy are affected by hydraulic force, the hydrodynamic equation of electro-hydraulic directional valve, with the electro-hydraulic directional valve of boiler serpentine tube bender taken as an example, is deduced and established considering radial clearance. By AMESim, the simulation model is established, and the influence of different radial clearance, valve sleeve diameter, system flow and other parameters on valve hydrodynamic force is simulated and analyzed. The research results show that hydraulic force increases gradually along with the increase of main valve radial clearance, and main valve hydraulic force increases drastically in the wake of the decrease of main valve sleeve diameter as well as the increase of system flow.

Keywords: AMESim; tube bender; electro-hydraulic directional valve; hydraulic force; response time; radial clearance

0 引言

蛇形管弯管机是国内首次自行设计制造的计算机数字控制的蛇形管左右回转式顶弯管机,是加工大型电站锅炉的重要设备。该机采用液压传动及伺服与PC控制技术,自动完成送料、夹紧和弯管加工^[1]。其主要工作部分液压伺服控制回路控制精度决定于关键元件电液换向阀的性能。电液比例换向阀是电液比例系统中重要的液压元件,主要用于控制液压系统的流量,使输出流量与输入的电信号成比例。当需要液压系统的流量精确跟随控制信号变化时,液动力成了关键影响因素^[2-3]。国内外许多学者对液动力进行了深入研究。吴小锋等^[4]通过计算流体动力学方法对液压换向阀受到的瞬态液动力进行研究,以减小噪声因子对瞬态液动力的影响;KRISHNASWAMY K等^[5]对大流量多位电液换向阀的液动力进行研究,通过理论、CFD仿真和试验相结合的方法,利用液动力来提高电液换向阀的灵敏性。刘晓红等^[6]建立了具有配合间隙的阀芯CFD模型,仿真与试验结果表明,流体在滑阀节流口的能量损失会使油温升高、阀芯膨胀,阀芯与阀体之间的配合间隙

减小,最终导致阀芯卡滞。综上,学者们对于定量分析径向间隙等关键参数对电液比例换向阀液动力的影响研究较少。

鉴于此,本文以锅炉蛇形管弯管机电液换向阀为例,建立其仿真模型,仿真分析了不同径向间隙等参数对阀液动力的影响。

1 电液换向阀工作原理

图1为电液换向阀结构图。先导阀采用两个三通比例减压阀。工作时,先导阀接受外加电信号并由比例放大器放大,作用在比例电磁推杆上,所形成的先导推力驱动先导阀芯移动,先导油源经先导阀输出液压力,进而驱动主阀芯轴向运动,直到主阀液动力与弹簧力平衡,主阀芯静止,其位移比例与电磁铁输入电流成比例。当主阀液动力因为外加负载变化而发生变化时,主阀受控腔将压力变化反馈至先导阀,先导阀通过其压力补偿作用,调节先导阀节流口面积大小来稳定受控腔先导阀出口压力,进而使系统流量稳定。

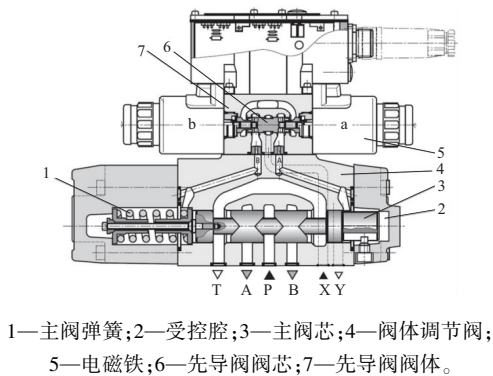


图 1 某型电液比例换向阀结构

2 考虑径向间隙的液动力方程推导

研究表明,实际稳态液动力受径向间隙和工作边圆角的影响,径向间隙和工作边圆角使阀口的过流面积增大,从而使液动力增大。

图 2 为电液比例阀阀口示意图。

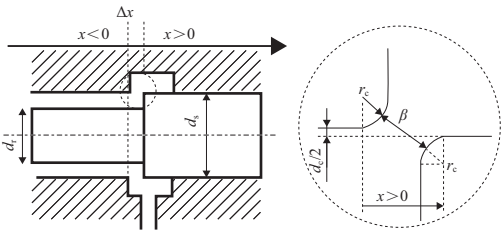


图 2 电液比例阀阀口示意图

在不考虑径向间隙时,滑阀阀口的有效通流面积为

$$A_1 = \pi d_c \Delta x \tag{1}$$

考虑径向间隙时滑阀阀口的有效通流面积为^[7]

$$A_2 = \pi d \cdot \beta = \pi d (\sqrt{\Delta x^2 + (d_c/2 + 2r_c)^2} - 2r_c) \tag{2}$$

式中: r_c 为圆角半径; d_c 为阀芯和阀套之间的间隙; d 为阀套直径; Δx 为阀负重叠量。

本例中,以电磁铁 a 得电,B 口减压,A 口回油;电磁铁 b 得电,A 口减压,B 口回油运行工况为例,可得出考虑间隙的液动力方程:

$$F_s = 2C_{dr}C_{dv}\pi d(\sqrt{\Delta x_1^2 + (d_c/2 + 2r_c)^2} - 2r_c) \times (P - P_B) \cos \theta \tag{3}$$

式中: C_{dr} 为流量系数; C_{dv} 为阀口速度系数; d 为阀直径; Δx_1^2 为阀口开口度; θ 为液流射角, $\theta = 69^\circ$ 。

3 建模及仿真分析

3.1 模型建立

根据电液换向阀的工作原理,利用 AMESim^[8] 仿真软件,建立阀及回路 AMESim 仿真模型,如图 3 所示。

3.2 参数设置

在 AMESim 参数模式下,根据阀实际结构,设定阀参

数如表 1 所示。其他参数保持默认。

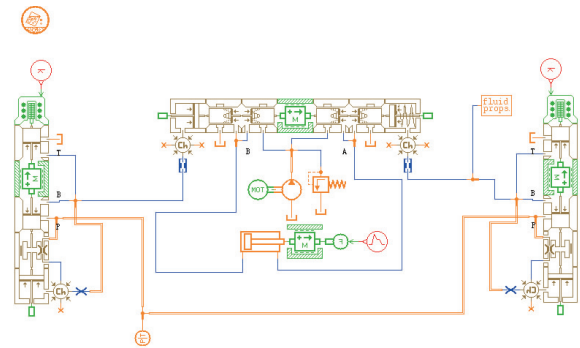


图 3 电液换向阀换向回路 AMESim 模型

表 1 参数设置表

模块名称	各部分名称	数值
三通比例减压 阀模块	活塞直径/mm	5
	小孔直径/mm	2
	比例电磁铁信号	30
	阀芯质量/kg	0.01
节流口模块	直径/mm	0.8
	长度/mm	7
主阀模块	活塞直径/mm	20
	活塞杆直径/mm	5
	弹簧刚度/(N/mm)	180
	阀芯质量/kg	0.03
先导压力模块	压力/MPa	0.5
压力源模块	压力/MPa	30
液压缸模块	活塞直径/mm	25
	活塞杆直径/mm	12
	外负载/N	3 000

3.3 仿真分析

设定先导阀的电磁铁 a 输入信号在 0~10 s 为 30 Hz。设置仿真时间为 10 s,仿真步长为 0.01 s,进行仿真分析,得到液压缸速度曲线如图 4 所示。

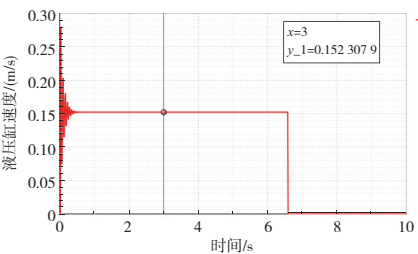


图 4 液压缸速度曲线

液压缸运动速度计算公式为

$$V = \frac{Q}{A} \tag{4}$$

将表1中液压缸活塞直径25 mm代入式(4),计算得出液压缸的运动速度为0.153 m/s,仿真结果与之基本一致,证明了所建立模型的正确性和精确性。

1) 径向间隙对阀液动力响应影响分析

通过AMESim批处理功能,设定主阀径向间隙分别为0.01 mm、0.05 mm、0.10 mm、0.50 mm进行仿真,得到不同径向间隙下主阀阀芯所受液动力变化曲线如图5所示。由仿真结果可以看出,随着系统设定主阀径向间隙增加,主阀液动力逐渐增加,间隙由0.01 mm增加到0.50 mm时,主阀液动力由0.029 N增加到0.032 N。同时随着径向间隙的增加,在阶跃响应信号输入下,主阀液动力瞬时峰值也有所增加。

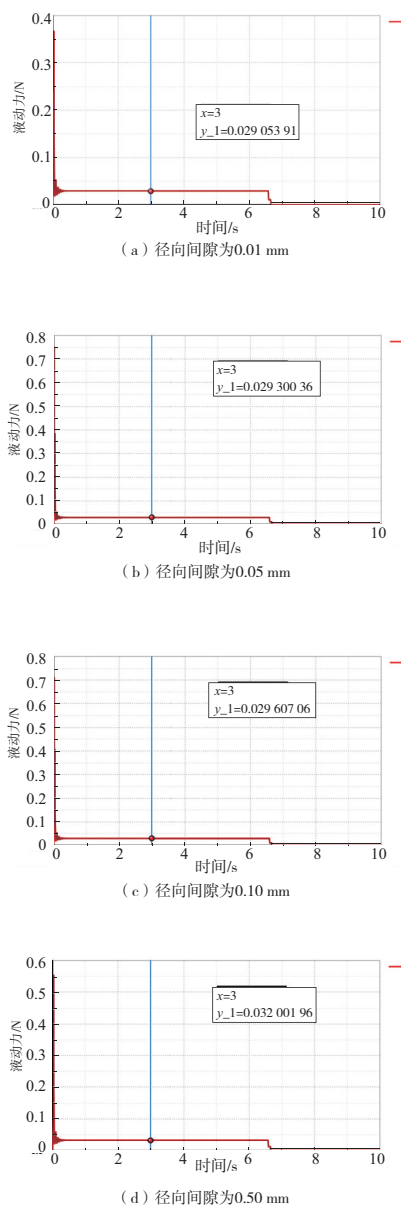


图5 不同径向间隙下液动力变化曲线

2) 主阀阀套直径对阀液动力影响分析

通过AMESim批处理功能,设定主阀阀套直径分别为20 mm、15 mm、10 mm,主阀径向间隙为0.1 mm进行仿真,得到不同阀套直径下主阀液动力变化曲线如图6所示。由仿真结果可以看出,当主阀径向间隙一致,随着主阀阀套直径的降低,主阀液动力急剧增加,主阀阀套直径由20 mm降低到10 mm时,主阀液动力由0.029 N增加至0.794 N。

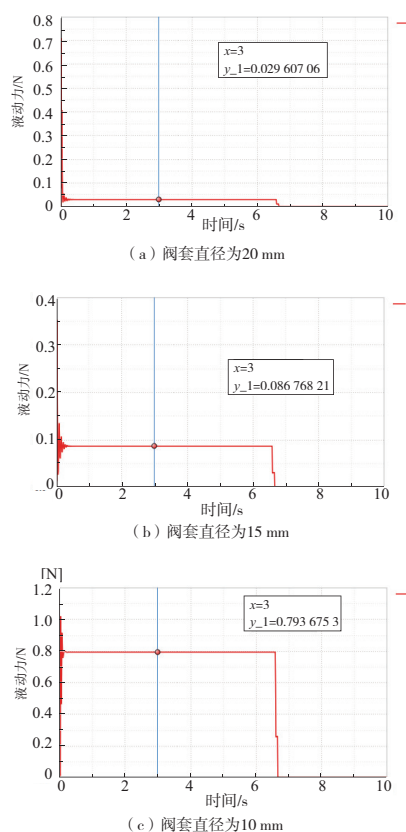
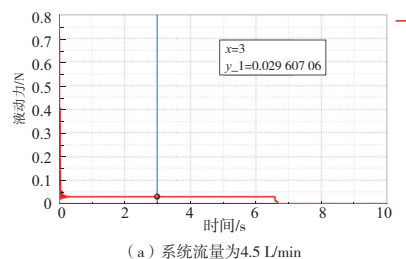


图6 不同主阀阀套直径下液动力曲线

3) 系统流量对阀液动力影响分析

通过AMESim批处理功能,设定系统的流量分别为4.5 L/min、9.0 L/min、13.5 L/min、45.0 L/min,径向间隙为0.1 mm,阀套直径为20 mm,进行仿真,得到不同系统流量下主阀液动力变化曲线如图7所示。由仿真结果可以看出,当主阀径向间隙一致,随着系统流量的增加,主阀液动力急剧增加,系统流量由4.5 L/min增加到45.0 L/min时,主阀液动力由0.029 N增加至1.99 N。



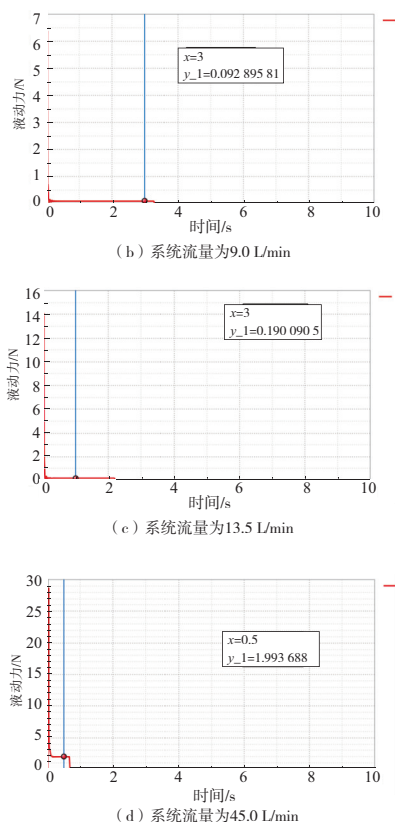


图7 不同系统流量时主阀液动力曲线

4 结语

本文针对稳态液动力影响电液换向阀响应时间、换向精度等主要性能参数的问题,以锅炉蛇形管弯管机用电液换向阀为例,推导并建立了考虑径向间隙液压动力方程,

并利用 AMESim 建立其仿真模型,仿真分析了不同径向间隙、阀套直径、系统流量对阀液动力的影响。得到如下研究结果。

1)随着系统设定主阀径向间隙增加,主阀液动力逐渐增加,间隙由 0.01 mm 增加到 0.50 mm 时,主阀液动力由 0.029 N 增加到 0.032 N。

2)随着主阀阀套直径的降低,主阀液动力急剧增加,主阀阀套直径由 20 mm 降低到 10 mm 时,主阀液动力由 0.029 N 增加至 0.794 N。

3)随着系统流量的增加,主阀液动力急剧增加,系统流量由 4.5 L/min 增加到 45.0 L/min 时,主阀液动力由 0.029 N 增加至 1.99 N。

研究结果为电液换向阀的优化设计和研究提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 张利平. 现代液压技术应用 220 例[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 刘国文,金亮亮,路遥,等. 电液比例换向阀的发展概况及前景展望[J]. 液压气动与密封,2018,38(3):1-4.
- [3] 李明飞,吴勇,田野,等. 基于 AMESim 的带阻尼调节器的电液换向阀仿真研究[J]. 液压与气动,2015(2):79-81.
- [4] 吴小锋,干为民,刘春节,等. 液压换向滑阀内部结构的健壮性设计[J]. 中国机械工程,2017(8):54-57.
- [5] KRISHNASWAMY K, LI P Y. On using unstable electrohydraulic valves for control[J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control,2002,124(1):183-190.
- [6] 刘晓红,柯坚,刘桓龙. 液压滑阀径向间隙温度场的 CFD 研究[J]. 机械工程学报,2006,42(S1):231-234.
- [7] 徐步算,李英明,任光胜. 基于 AMESim 的牵引车液压系统压力切断阀的研究[J]. 机床与液压,2014,42(1):128-131,168.
- [8] 付永领,祁晓野. AMESim 系统建模和仿真:从入门到精通[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.

收稿日期:2022-01-12

(上接第 84 页)

3 结语

分析自动扶梯梳齿板保护检测现状问题,提出研究设计一种检测梳齿板安全开关动作以及作用力大小检测装置的必要性,基于虚拟样机技术对检测装置的整体结构设计,建立其整体机构三维模型。通过有限元法对检测装置的传感器推拉支架进行分析,得出应力屈服极限和挠度位移形变结果,并针对传感器推拉支架的安全设计规范及其材料特性进行比较和验证,确定方案的安全合理和有效性。

参考文献:

- [1] TSG T7005—2012 电梯监督检验和定期检验规则—自动扶梯与自动人行道[S].
- [2] 毕陈帅,谢然,戴光宇. 对自动扶梯梳齿板保护和防异物夹入的探讨与思考[J]. 中国电梯,2019,30(1):56-59.
- [3] GB 16899—2011 自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全

规范[S].

- [4] 胡智勇,郭福兴,王文峰. 自动扶梯梳齿板保护装置检验的探讨[J]. 中国特种设备安全,2018,34(1):30-32.
- [5] 毛怀新. 电梯与自动扶梯技术检验[M]. 北京:学苑出版社,2001.
- [6] 江叶峰,朱建新,柏治国. 基于薄板理论的梳齿板异物保护装置有限元分析及试验验证[J]. 机械与电子,2018,36(7):7-10.
- [7] 徐灏. 安全系数和许用应力[M]. 北京:机械工业出版社,1981.
- [8] 李国栋. 基于 ANSYS 的自动扶梯桁架结构优化设计[D]. 镇江:江苏大学,2017.
- [9] 吴海平,蒋杰,江叶峰,等. 自动扶梯桁架参数化有限元分析方法研究[J]. 机械制造与自动化,2020,49(1):115-117.
- [10] 陈玮玮,吴琳琳,申建国,等. 电梯轿架强度设计标准现状与思考[J]. 中国标准化,2019(15):115-120.

收稿日期:2021-08-23