

液压系统动态分析方法改进研究

王勇, 张腾, 恽灵明

(合肥工业大学机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

- 5 **摘要:** 针对传统方法的不足, 提出了一种改进的液压系统动态分析方法, 并给出了分析流程图。以液压式冲压机液压系统为例, 分析液压系统工作频率偏低原因, 并从系统和元器件两方面提出改进方案。利用 CFD 软件对二位二通阀的内部流场进行分析, 验证了其在系统中替换顺序阀的可行性; 应用联合仿真技术, 对液压系统改进后液压系统进行分析。分析结果表明: 改进后液压系统工作频率有明显提高。
- 10 **关键词:** 液压系统; 动态分析方法; 联合仿真; CFD
中图分类号: TH137

Study on Improvement of the Dynamic Analysis Method of Hydraulic System

15 WANG Yong, ZHANG Teng, YUN Jiongming

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, HeFei 230009)

- Abstract:** Aiming at the shortcomings of the traditional method, an improved dynamic analysis method of hydraulic system is proposed. By taking hydraulic system of a hydraulic punch press as an example, the improvement program is put forward from two aspects of system and component to solve the problem of low working frequency. Internal flow fields of the 2 position 2 port hydraulic valve is analyzed with computational fluid dynamics software to verify the feasibility of substituting the sequence valve in hydraulic system. The co-simulation analysis results of the improved hydraulic system show that working frequency of the hydraulic system markedly improved.
- 20
25

Keywords: Hydraulic system; Dynamic analysis method; Co-simulation; CFD

0 引言

- 传统液压传动系统设计主要基于设计者经验, 根据设计要求等进行计算选择, 继而校核系统性能。校核过程仅局限传动系统特性, 缺少结合控制系统和液压元件的动态性能仿真分析。随着液压系统的应用领域越来越广, 对液压系统工作性能要求也逐渐提高, 因而进行液压系统的动态分析方法改进研究十分必要^[1]。
- 30

本文针对传统设计方法的不足, 提出了一种改进的液压系统动态仿真分析方法, 以液压式冲压机液压系统为例, 分析对比两种方法, 检验了改进动态分析方法的实用性。

35 1 液压系统动态仿真分析方法

- 系统方面, 国内外液压系统动态特性分析主要利用 AMESim 和 Simulink 独立仿真或 AEMSim 与 Simulink 的联合仿真。美国 Alfred Lynn、Edzko Smid 等分别使用 AMESim 和 Simulink 对混合动力车液压回路和汽车、发动机控制系统进行了仿真分析^[2]; 西北工业大学陈宏亮、李华聪利用 AMESim 与 Simulink 联合仿真技术对电液伺服系统减振进行了研究^[3];
- 40 晋城煤业集团金鼎公司郭凌龙对阀控缸电液伺服系统利用 AMESim 建立物理模型, Simulink

基金项目: 科技支撑计划项目: 支撑区域和地方支柱产业的制造业信息化综合应用示范(2012KJZC0789); 安徽省科技厅创新平台建设项目: 高端装备制造和新能源汽车技术新服务平台(11Z0201025)

作者简介: 王勇, (1969-), 男, 副教授, 主要研究方向: 数字化设计、结构拓扑优化技术。E-mail: ywang9868@163.com

建立 PID 控制模型，进行联合仿真^[4]。联合仿真方法除了具有软件独立仿真的优点外，还可以对液压系统的控制部分进行仿真，较之其它两种更具优势。

元器件方面，利用 CFD 软件对各种阀进行动态分析。马来西亚国油科技大学 M. Osman Abdalla、T. Nagarajan 等使用 FLUENT 对液压比例伺服阀流场及能量损失进行了数值分析^[5]，西安航天动力研究所王定军、宋会玲等采用 FLUENT 软件对火箭姿态控制减压阀环形节流口流场进行了数值仿真，得到了有关参数图形^[6]。

基于此，本文提出了一种液压系统动态仿真分析方法。通过 AMESim 与 Simulink 联合对系统动态仿真分析，提出液压系统存在问题，结合 FLUENT 对元器件内部流场动态分析，从系统和元件两方面给出改进方案，对改进后液压系统进行仿真分析，验证改进效果。具体流程如图 1 所示：

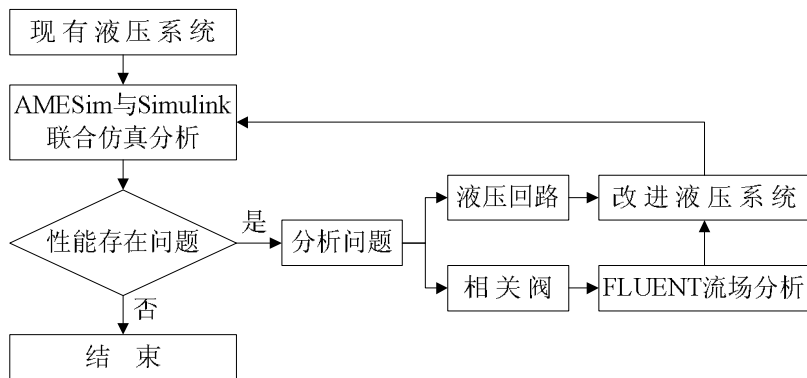


图 1 液压系统动态仿真分析流程图

Fig. 1 Hydraulic system dynamic simulation analysis flow chart

2 某冲压机液压系统仿真分析

冲压机凭借高效率、低成本等特点，广泛应用于汽车工业、各种机械产品生产部门。与传统的机械式冲压机相比，液压式冲压机具有结构简单、传动平稳、冲压频率高等特点，其应用范围更为广泛^[7]。液压式冲压机的液压系统需要实现“快进→工进→回程→停止”一套工作循环。

根据某型号冲压机液压系统原理图，分别在 AMESim 和 Simulink 中建立其联合仿真模型，如图 2 所示。

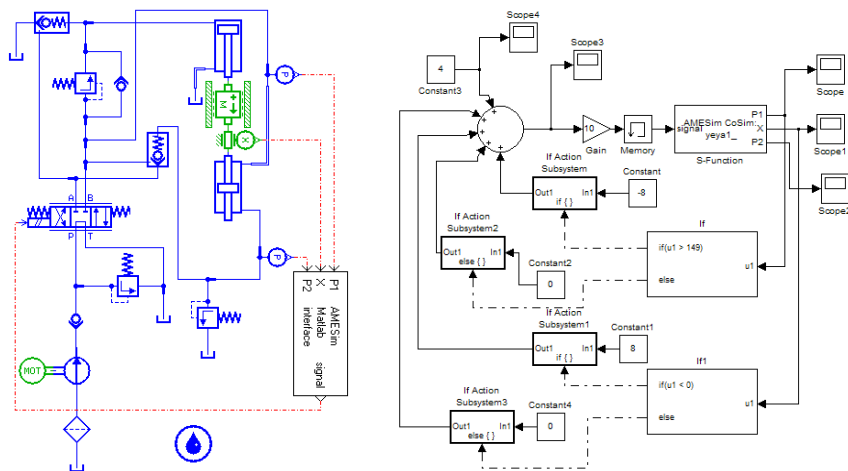


图 2 AMESim-Simulink 联合仿真模型

Fig. 2 AMESim-Simulink co-simulation model

在 Simulink 中选择 Simulation 菜单，在子菜单中选择 Configuration Parameters，对 Simulink 求解器进行设置。仿真开始时间 0.0s，结束时间 1.4s；仿真类型选择变步长；求解器选择 ode15s(stiff/NDF)。设置完成后，在 Simulink 中运行仿真，得到系统各动态特性如下图所示：

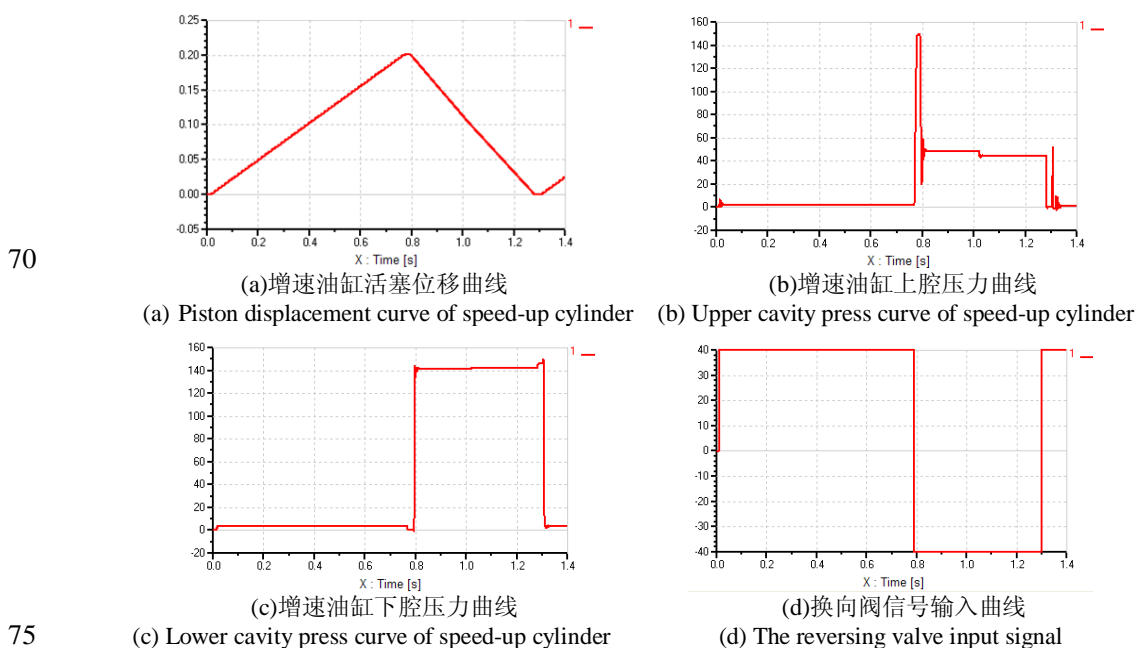


图 3 原系统动态特性曲线
 Fig. 3 Dynamic characteristic curves of the original system

通过仿真分析可知，该液压系统一个工作循环用时 1.3 秒，冲压频率为 46 次/min，工作频率较低，工作过程中的速度波动不大，工作较为稳定。

通过分析可知，该液压系统的主要缺点有：

(1) 液压系统中流量偏低是低工作效率的主要原因。

(2) 液压系统中使用顺序阀控制增速油缸由快速工进到慢速工进状态转换，一定程度上影响了工作效率。

针对其第一个问题，可从以下几个方面进行改进：1) 通过选择较大排量液压泵来增大输出流量，以提高整个系统流量；2) 通过改进液压回路来实现液压缸的快速运动，而实现快速回路的主要方式有以下几种：增速油缸、差动连接、双泵供油和采用蓄能器。

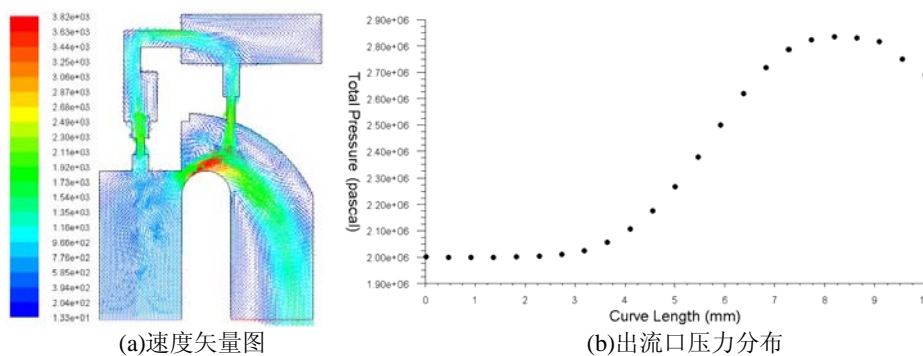
针对第二个问题，拟用二位三通换向阀替代顺序阀。使用元器件动态分析方法即 CFD 软件 FLUENT 对两阀内部流场进行分析，验证替换的可行性。

3 液压系统改进与仿真分析

3.1 相关阀 CFD 流场分析

本液压式冲压机液压系统中采用的顺序阀型号为 DZ10-1-30/210020B，根据其结构，在 FLUENT 前处理软件 Gambit 中对其完全打开时计算区域建立二维模型并生成网格。设置流场计算的边界条件为：压力入口与压力出口，进口压力设置为 10MPa，出口压力为 2MPa。

求解器采用默认设置。其中残差收敛条件设置：x-velocity、y-velocity、k、epsilon 为 0.0001，energy 为 1e-06。选择标准 k-e 模型，具体参数保持默认值。通过 190 次迭代达到残差收敛，得到顺序阀流场分布图如下：

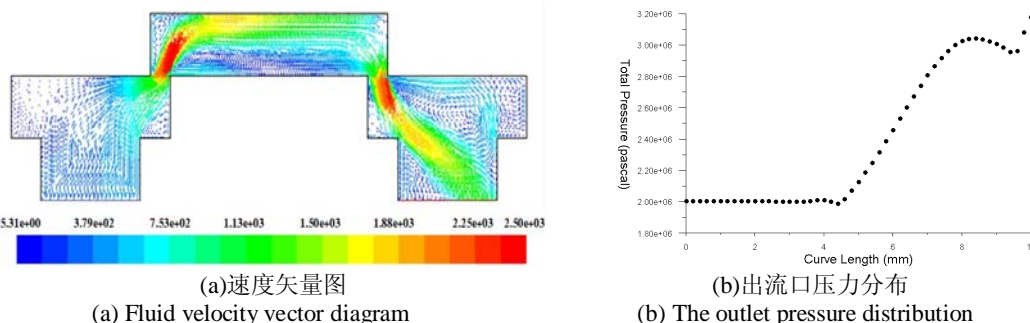


(a)速度矢量图 (b)出流口压力分布
 (a) Fluid velocity vector diagram (b) The outlet pressure distribution

图4 顺序阀流场分布图

Fig. 4 Flow field distribution of the sequence valve

二位二通阀处于接通位时，根据阀结构，在 Gambit 中建立其计算区域模型，并生成网格。其边界条件设置等均与顺序阀相同。通过 379 次迭代达到残差收敛，二通阀流场分布如图 5 所示：



(a)速度矢量图 (b)出流口压力分布
 (a) Fluid velocity vector diagram (b) The outlet pressure distribution

图5 二通阀流场分布图

Fig. 5 Flow field distribution of the two-way valve

由顺序阀与二位二通阀的流场对比分析可知：1) 压力损失：顺序阀带有先导阀，阀体内液体流动距离增加，压力损失也增大。分析结果显示顺序阀出流口的最大压力 2.8MPa，二通阀出流口的最大压力 3.2MPa，顺序阀的压力损失较二通阀大；2) 冲击：顺序阀中流体最大速度为 3820m/s，较二通阀 2500m/s 大，因而其冲击也较大。

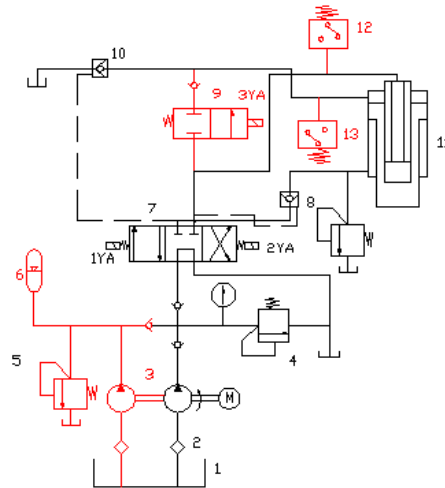
此外，虽然先导式顺序阀在控制上较为方便，但其响应不如二位二通阀。

3.2 液压系统改进

综合考虑上述问题，对原液压系统进行如下改进：

- (1) 将蓄能器加入到原液压系统中；并使用双泵供油，以增大流量；
- (2) 电磁换向阀电磁铁湿式改为干式；直流改为交流或是直流和微型继电器组合，以提高换向速度；
- (3) 将先导式顺序阀改为二位二通阀。

改进后的液压原理图如图 6 所示。



3.液压泵 4.安全阀 5.溢流阀 6.蓄能器 7.电磁换向阀 8.液控单向阀
9.二通阀 10.液控单向阀 11.增速油缸 12.压力继电器 13.压力继电器

图 6 改进后液压系统原理图

Fig. 6 The improved hydraulic system schematic diagram

此方案的优点有:

(1) 系统中加入了蓄能器, 它作为辅助动力源, 可以短时提高系统流量; 同时可以吸收冲击。

(2) 系统中采用双泵供油快速回路, 可以提高系统流量, 进而提高冲压机的效率。

(3) 使用干式电磁铁活塞直流和微型继电器的组合, 因其吸合快, 释放时间短, 可以提高换向速度。

(4) 二通阀具有流量大、响应快的特点, 可以有效的解决噪声大, 温升高的问题, 可以提高工作频率[5]。

3.3 改进后系统仿真分析

根据图 6 所示改进液压原理图, 分别在 AMESim 和 Simulink 中建立其联合仿真模型, 如图 7 所示。

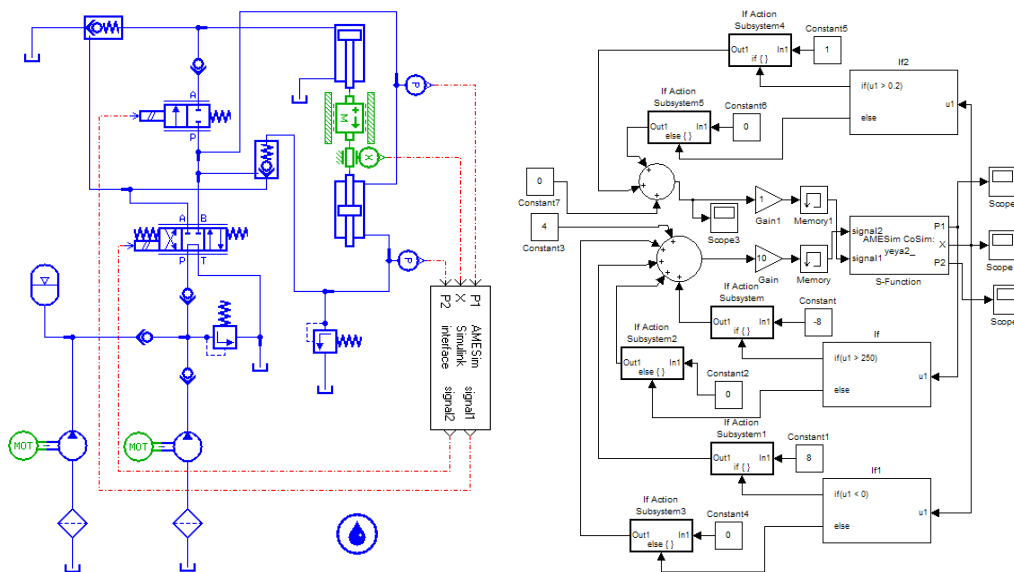


图 7 改进后 AMESim-Simulink 联合仿真模型

Fig. 7 The improved AMESim-Simulink co-simulation model

Simulink 模型中, 需要输出两个信号: 电磁换向阀的控制信号 signal2 与二通阀的控制

信号 signal1。其中 signal2 是通过液压缸上腔压力 P1 与活塞位移 X 控制，signal1 是通过活塞位移 X 控制。

设置仿真时间为 1 秒，在 Simulink 模型中运行仿真，得到以下仿真曲线：

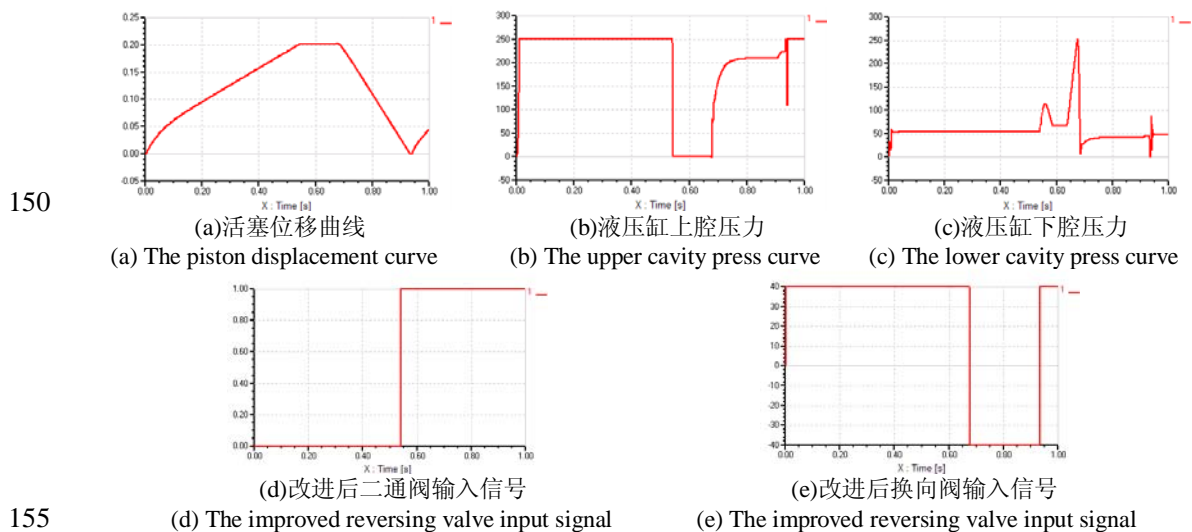


图 8 改进后系统动态特性曲线

Fig. 8 Dynamic characteristic curves of the improved system

由以上曲线可知，改进后的液压系统完成一个工作循环所需要的时间为 0.94 秒，其中
160 快进时间为 0.54 秒、工进时间 0.13 秒、回程时间 0.27 秒，工作频率为 64 次/min。对比改进前 46 次/min，提高约 40%。

4 结论

(1) 本文提出了一种改进的液压系统动态特性仿真分析方法，并给出了具体流程。

165 (2) 本文从系统及元器件方面对液压系统进行分析与改进：系统方面使用 AMESim 与 Simulink 联合仿真方法对系统动态特性进行分析；元器件方面使用 CFD 软件对相关阀内部流场进行分析。

(3) 通过分析结果可知，采用改进后动态分析方法，液压系统动态性能提升效果明显，改进动态分析方法具有很好的实用性。

致谢

170 本文工作得到科技部科技支撑计划项目“支撑区域和地方支柱产业的制造业信息化综合应用示范 (2012KJZC0789)”、安徽省科技厅创新平台建设项目“高端装备制造和新能源汽车技术新服务平台 (11Z0201025)”资助，特此感谢。

[参考文献] (References)

- 175 [1] 李永堂, 雷步芳, 高雨苗. 液压系统建模与仿真[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [2] Alfred Lynn, Edzko Smid, Moji Eshraghi. Modeling Hydraulic Regenerative Hybrid Vehicles Using AMESim and Matlab/Simulink[J]. Enabling Technologies for Simulation Science IX, 2005, 5805: 24-40.
- [3] 陈宏亮, 李华聪. 基于 AMESim 与 Matlab/Simulink 联合仿真技术的电液伺服系统减振研究[J]. 机床与液压, 2011, (6): 121-123.
- 180 [4] 郭凌龙. 基于 AMESim 与 Matlab 联合仿真的电液伺服控制系统研究[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21 (16): 200-202.
- [5] M. Osman Abdalla, T. Nagarajan, Fakhruddin Mohed H. Numerical Study of Flow Field and Energy Loss in Hydraulic Proportional Control Valve[J]. National Postgraduate Conference (NPC), 2011: 1-6.

- 185 [6] 王定军, 宋会玲, 白少卿等. 减压阀节流口流场仿真和分析[J]. 火箭推进, 2009, 35(6): 37-46.
- [7] 藏贻娟, 赵国霞, 徐瑞霞等. 高速冲床液压系统设计[J]. 液压与气动, 2008(4): 43-45.