

# 一种多缸液压升降装置的智能控制系统设计

王亚楠,郑凯

(西安交通工程学院,陕西 西安 710300)

**摘要:**以提高多缸液压升降装置的稳定性为目标,设计一种多缸液压升降装置的智能控制系统。以液压缸、换向阀为硬件核心完成升降装置的液压系统设计,并利用 FLuidSIM 绘制了液压系统原理图;通过压力传感器、比例换向阀搭建一种具有比例反馈环节的智能控制系统,通过比例反馈环节对系统工作压力的有效控制,保持液压升降装置的稳定性;利用 AMESim 建立智能控制系统的仿真模型。通过对仿真结果的分析表明:智能控制系统减少了系统压力损失,保持了液压升降装置的所需压力,增强了液压升降装置的稳定性。

**关键词:**升降装置;PLC;多模式;仿真

**中图分类号:**TP273 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)02-0189-04

## Design of an Intelligent Control System for Multi-cylinder Hydraulic Lifting Device

WANG Yanan, ZHENG Kai

(Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710300, China)

**Abstract:** With the aim of improving the stability of multi-cylinder hydraulic lifting device, an intelligent control system of multi-cylinder hydraulic lifting device is designed. Hydraulic cylinder and reversing valve are adopted as the hardware core to design the lifting device hydraulic system, and the hydraulic system schematic diagram is drawn by FLuidSIM. With pressure sensor and proportional directional valve, an intelligent control system with proportional feedback link is built, and by proportional feedback link, the working pressure of the system is effectively controlled to maintain the stability of the hydraulic lifting device. And AMESim is applied to establish the simulation model of intelligent control system. The analysis on the simulation results shows that the intelligent control system reduces the pressure loss of the system, maintains the required pressure of the hydraulic lifting device, and enhances the stability of the hydraulic lifting device.

**Keywords:** lifting device; PLC; multi-mode; simulation

## 0 引言

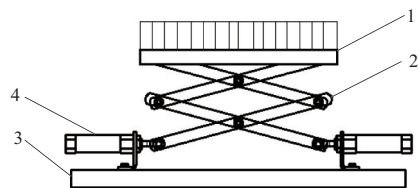
液压升降装置在液压系统、工业设备、机械加工中应用广泛,而在特定环境中液压升降装置的控制精度往往易受突变载荷的影响,产生升降不稳定等问题<sup>[1]</sup>。而液压控制系统是液压升降装置的核心组成部分,其控制性能的优劣直接影响着液压升降装置的可靠性与稳定性,是影响工业设备正常运行的重要因素之一。因此,如何在保证液压升降装置原有性能的同时,提高液压升降装置工作的稳定性及可靠性,成为值得研究的问题。本文设计了一种提高液压升降装置可靠性与稳定性的控制系统,通过液压升降装置自适应补偿系统,提高液压升降装置在载荷不断变化的特殊条件下的可靠性,扩大液压升降装置的使用范围与效率。

## 1 液压升降装置总体结构与工作原理

### 1.1 升降装置的结构简图

本文参照《JB/T9885—1999 机械行业标准》中液压升

降装置的基本结构和技术条件<sup>[2]</sup>,如图1所示。



1—工作平台;2—升降机构;3—底座;4—液压缸。

图1 液压升降装置结构简图

### 1.2 升降装置液压系统

利用 FLuidSIM 绘制了液压升降装置<sup>[3]</sup>的液压系统,如图2所示。

图2中2号液压缸的输出载荷设置为100N;4号液压缸的输出载荷设置为120N,模拟了在特定环境中液压升降装置所受的突变载荷。

基金项目:陕西省教育厅科研计划项目资助(20JK0749)

第一作者简介:王亚楠(1990—),女,陕西西安人,讲师,学士,研究方向为计算机控制。

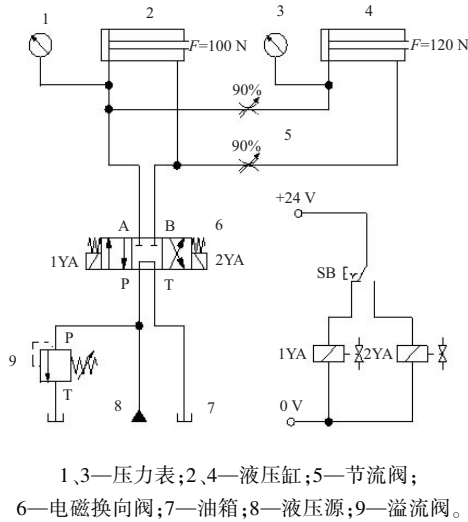


图 2 升降装置的液压系统原理图

### 1.3 升降装置工作原理

液压源向液压系统提供一定的系统压力;当三位四通换向阀处于工作状态时,升降装置的液压系统中的液压缸以一定速度伸出,驱动升降装置上升与下降。其在 FLuidSIM 仿真中的液压系统如图 3 所示。

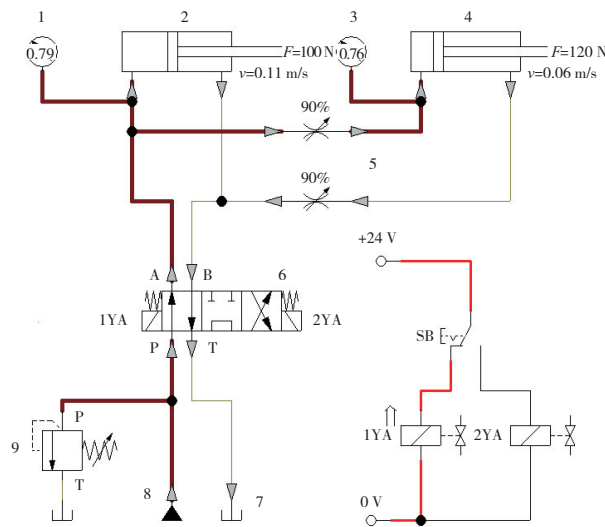


图 3 升降装置的液压系统仿真图

如图 3 所示,在 FLuidSIM 的仿真环境下<sup>[4-6]</sup>,若液压源 8 的工作压力为 6 MPa,液压泵流量为 2 L/min 时,2 号液压缸的输出压力  $P_0 = 0.79$  MPa,速度为 0.11 m/s;4 号液压缸的输出压力  $P_1 = 0.76$  MPa,速度为 0.06 m/s;通过 FLuidSIM 仿真发现,在 2、4 号液压缸所受负载发生变化时,输出压力具有明显的变化,造成了系统的不稳定性,进而降低了液压升降装置的稳定性。

## 2 升降装置的系统偏差分析

本文结合图 3 中的仿真模型,使 2、4 号液压缸分别在

不同的工作负载下,利用 FLuidSIM 仿真实验得到了对应的相应系统压力下 2、4 号液压缸的位移增量,如表 1 所示。

表 1 系统工作压力与位移变化量

系统输入压力 $P/\text{MPa}$	2 号液压缸位移 $x_2/\text{mm}$	4 号液压缸位移 $x_3/\text{mm}$	2、4 号液压缸的位移增量 $\Delta x/\text{mm}$
8	208.12	204.31	3.81
9	215.31	211.21	4.10
10	230.03	225.36	4.67
12	242.24	235.31	6.93
14	256.71	249.26	7.45
16	268.32	259.72	8.60
18	278.25	267.21	11.04

根据表 1 可知,当活塞有效作用面积、系统负载弹簧刚度、作用在活塞上的外负载力不变时,2、4 号液压缸的位移增量与系统工作压力之间具有一定的比例关系。

设液压系统工作压力  $p$  与 2、4 号液压缸的位移增量  $\Delta x$  之间的比例关系为

$$p = k \times \Delta x \quad (1)$$

式中  $k$  为比例系数。

本文在表 1 的基础上,结合式 (1) 构建了比例系数  $k$  的数学模型,并利用 MATLAB 分析<sup>[7-8]</sup> 且得到了比例系数。

$$k = \frac{p_n + p_{n-1} + \dots + p_0}{\Delta x_n + \Delta x_{n-1} + \dots + \Delta x_0} \quad (n \leq 6) \quad (2)$$

可得  $k \approx 4.231$ 。

## 3 控制系统的设计

本文以 PID 算法中的比例环节为基础,选用某公司的具有较高响应速度的 DSPIC30F2010 数字信号处理器为控制核心进行控制,控制流程如图 4 所示。

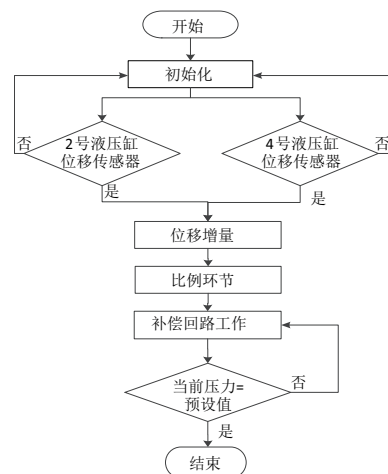


图 4 控制系统流程图

控制系统的主要功能是,通过位移传感器对升降装置 2、4 号液压缸位移进行检测,得到两缸位移间的增量  $\Delta x$ ,

同时通过比例反馈环节,按照比例系数  $k$  向控制系统中的比例换向阀输入适当强度的电流,使系统成比例释放压力,进而达到稳定系统压力,提高升降装置稳定性的目的。

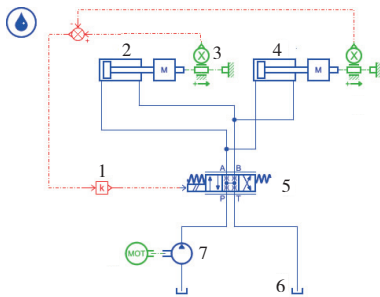
## 4 智能控制系统的设计与仿真

本文运用 AMESim 软件<sup>[9-11]</sup>,通过绘制系统草图、建立子模型、参数设置、运行仿真 4 个环节,建立智能补偿系统的仿真模型,并进行了仿真实验,得到了相应的特性曲线。

### 4.1 智能控制系统的设计

#### 1) 建立仿真模型

分别从 AMESim 软件的“Signal, Control”电子器件库、“Hydraulic”液压库选取相应的“元件”进行相应系统草图的绘制,如图 5 所示。



1—比例环节;2,4—液压缸;3—位移传感器;  
5—比例换向阀;6—油箱;7—液压马达。

图 5 智能补偿系统的仿真模型

#### 2) 设定子模型参数

依据图 1、图 2,本文给出了液压升降装置的基本参数<sup>[3]</sup>,为后续升降装置液压系统数学模型的建立提供了依据,如表 2 所示。

表 2 智能控制系统仿真模型参数

序号	名称	指标	参数
1	比例环节	比例系数	4.231
2	2号液压缸	负载/N	100
3	位移传感器		默认值
4	4号液压缸	负载/N	120
5	比例换向阀		默认值
6	油箱		默认值
7	液压马达	压力值/MPa	0.6

#### 3) 工作过程

如图 5 所示,处于工作状态时,当三位四通电磁比例换向阀 5 处于工作状态时,升降装置液压系统中的 2、4 号液压缸的活塞杆以一定速度伸出或缩回,驱动升降装置上升或下降,同时安装于 2、4 号液压缸前端(不同负载)的位移传感器 3 工作,完成位移信号的采集与处理,在得到位移变化的增量  $\Delta x$  后,比例环节 1 工作,并按照预定算法

向智能控制回路中的比例换向阀 5 输入相应比例的控制电流,使液压系统成比例输入压力,进而达到稳定系统压力,提高液压升降装置稳定性的目的。

### 4.2 智能控制系统仿真与分析

#### 1) 智能控制系统特性曲线

本文依据 4.1 节的仿真模型,按照表 2 中的参数进行设置并进行仿真,得到相应的特性曲线。如图 6 所示。

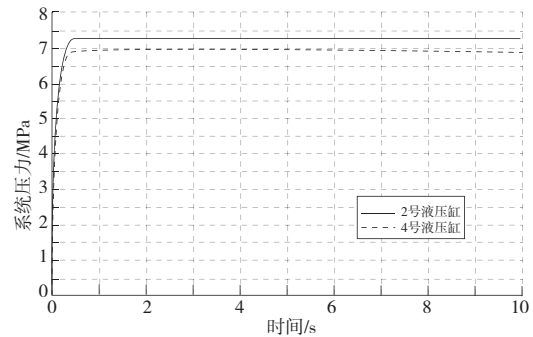


图 6 智能控制系统特性曲线

依据图 6 中的运行结果,对智能控制系统进行了仿真实验,并对结果进行比较分析。如图 6 所示,当采用智能控制系统时,2、4 号液压缸的系统压力都能快速达到稳定状态,且 2、4 号液压缸的系统压力分别为 0.727 MPa 和 0.691 MPa,2、4 号液压缸的系统压力基本相同,无明显压力损失。

#### 2) 智能控制系统数据分析

结合图 5 的仿真模型,通过多次仿真实验得到相应的实验数据,并进行了分析,结果如表 3 所示。

表 3 智能控制系统仿真实验数据

实验次数	系统压力/MPa	2号液压缸压力/MPa	4号液压缸压力/MPa	变化增量/MPa	相对误差/%
1	6	0.727	0.691	0.036	6.00
2	8	0.815	0.769	0.046	5.75
3	10	1.123	1.069	0.054	5.40
4	12	1.325	1.257	0.068	5.66
5	14	1.531	1.459	0.072	5.14

由表 3 的实验结果可知,智能控制系统压力的相对误差小于 7.00%。通过分析证明智能控制系统起到了较好的压力补偿效果,提高了液压升降装置的稳定性,达到了设计目标。

## 5 结语

本文首先分析了升降装置液压系统的结构与工作原理,通过分析发现传统的控制方式造成了一定的系统压力损失。其次,针对压力损失这一问题,文中以比例换向阀、传感器为硬件核心设计了一种具有比例反馈环节的智能控制系统,通过反馈环节控制向工作系统成比例进

行压力输入,进而达到压力补偿的作用。最后,以AMESim为手段搭建了智能控制系统的仿真模型,并进行了仿真实验。通过实验结果的对比分析,表明智能控制系统对传统液压升降装置所造成的压力损失进行了有效补偿,保持了液压升降装置系统所需压力,提高了升降装置的可靠性,同时增强了设备的适用性。因此本设计具有一定的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 汤家荣. 组合机床液压滑台爬行故障分析及解决措施[J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43(10): 39-40.
- [2] 全国金属切削机床标委会组合机床分会. JB/T 9885—1999 组合机床液压滑台技术条件[S].
- [3] 赵永超. 液压升降装置的结构设计及性能分析[J]. 机械管理开发, 2021, 36(4): 69-70.
- [4] 李延民, 刘锡山, 王振, 等. 基于AMESim-Simulink的自适应模糊PID电液比例位置控制研究[J]. 机电工程, 2020, 37(12): 1453-1458.
- [5] 白淑江, 袁红兵, 高飞, 等. 液压支架平衡缸的模糊自适应PID

控制研究[J]. 机电工程, 2020, 37(12): 1515-1519.

- [6] 秦泽, 王爱红, 马浩钦, 等. 基于AMESim的新型蓄能器节能分析[J]. 机床与液压, 2021, 49(20): 137-140.
- [7] 林思齐, 熊永新, 姚伟, 等. 基于MATLAB/Simulink的新一代电力系统动态仿真工具箱[J]. 电网技术, 2020, 44(11): 4077-4088.
- [8] 陈梅, 王健. 基于MATLAB GUI的Ziegler-Nichols PID参数整定仿真系统[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(6): 98-101, 122.
- [9] 尚锐, 王宏祥, 戴晓春. 基于MATLAB的机械控制工程基础实验研究[J]. 实验室科学, 2018, 21(2): 84-87.
- [10] 佟得吉, 梁奎, 刘翔. 电站锅炉用先导式安全阀AMESim建模及仿真研究[J]. 机械制造与自动化, 2021, 50(5): 132-134, 182.
- [11] 徐威, 刘慧娇, 梁全, 等. 基于AMESim的插装阀仿真方法研究[J]. 南方农机, 2021, 52(19): 16-18.

收稿日期: 2021-11-09

(上接第172页)

#### 参考文献:

- [1] 黄彩虹, 曾京, 魏来. 铁道车辆蛇行稳定性主动控制综述[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(1): 267-284.
- [2] ZHENG X, ZOLOTAS A, GOODALL R. Combined active suspension and structural damping control for suppression of flexible bodied railway vehicle vibration[J]. Vehicle System Dynamics, 2020, 58(2): 198-228.
- [3] FU B, GIOSSI R L, PERSSON R, et al. Active suspension in railway vehicles; a literature survey[J]. Railway Engineering Science, 2020, 28(1): 3-35.
- [4] WANG D H, LIAO W H. Semi-active suspension systems for railway vehicles using magnetorheological dampers, part II: simulation and analysis[J]. Vehicle System Dynamics, 2009, 47(12): 1439-1471.
- [5] LI G D, ZHANG T T. Bifurcation behaviors of a high-speed bogie system with and without yaw dampers[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2018, 1074: 012052.
- [6] DUMITRIU M, STĂNICĂ D I. Effect of the anti-yaw damper on carbody vertical vibration and ride comfort of railway vehicle[J]. Applied Sciences, 2020, 10(22): 8167.
- [7] HUANG C H, ZENG J. Dynamic behaviour of a high-speed train hydraulic yaw damper[J]. Vehicle System Dynamics, 2018, 56(12): 1922-1944.
- [8] 廖英英. 高速铁道车辆半主动悬挂系统动力学建模优化与仿真分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [9] 刘建新, 王开云. 抗蛇行减振器对机车运行平稳性的影响[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(4): 1-4.
- [10] S. BRUNI, 杨明辉, 陈清, 等. 主动控制避免铁道车辆蛇行失稳[J]. 国外铁道车辆, 2004, 41(5): 23-28.

- [11] 晏永, 曾京, 翟玉江, 等. 轨道车辆蛇行运动GA-LQR主动控制研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(10): 2642-2648.
- [12] 修源. 高速列车抗蛇行减振器主动控制研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [13] 许文天, 梁树林, 池茂儒, 等. 动车组横向半主动悬挂模糊天棚控制研究[J]. 铁道机车车辆, 2020, 40(5): 23-28.
- [14] 席裕庚, 李德伟, 林姝. 模型预测控制——现状与挑战[J]. 自动化学报, 2013, 39(3): 222-236.
- [15] NIKOU A, VERGINIS C K, HESHMATI-ALAMDARI S, et al. A robust non-linear MPC framework for control of underwater vehicle manipulator systems under high-level tasks[J]. IET Control Theory & Applications, 2021, 15(3): 323-337.
- [16] D'ALFONSO L, FEDELE G, FRANZÈ G. Path tracking and coordination control of multi-agent systems; a robust tube-based MPC scheme[J]. IFAC-PapersOnLine, 2020, 53(2): 6975-6980.
- [17] 王孝然, 申永军, 杨绍普. 单自由度系统强迫振动下Kelvin模型和Maxwell模型比较[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2016, 29(3): 70-75.
- [18] YAN Y, ZENG J, HUANG C H, et al. Bifurcation analysis of railway bogie with yaw damper[J]. Archive of Applied Mechanics, 2019, 89(7): 1185-1199.
- [19] 罗仁, 石怀龙. 铁道车辆系统动力学及应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2018.
- [20] 石怀龙, 罗仁, 曾京. 国内外高速列车动力学评价标准综述[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(1): 36-58.

收稿日期: 2021-10-21