

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.02.034

# 双缸直顶式液压电梯同步控制优化设计及仿真分析

张纪文<sup>1</sup>, 李贵霖<sup>2</sup>, 张威<sup>1</sup>, 于凤国<sup>2</sup>

(1. 北京市海淀区特种设备检测所, 北京 100083;

2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

**摘要:**传统双缸直顶式液压电梯采用比例调速阀来实现双缸同步控制,其同步精度易受偏载的影响,提出一种位移偏差-电反馈PID闭环控制策略,以提高系统的同步控制性能。利用AMESim仿真软件建立系统仿真模型,并进行对比仿真分析。仿真结果表明:所提出的位移偏差-电反馈PID闭环控制策略能使系统在偏载工况下,精确控制比例调速阀输出流量来跟随位移偏差的变化,提高了系统的同步精度。

**关键词:**AMESim;PID控制;同步精度;液压电梯

**中图分类号:**TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)02-0177-04

## Optimization Design and Simulation Analysis of Synchronous Control of Double-cylinder Straight Top Hydraulic Elevator

ZHANG Jiwen<sup>1</sup>, LI Guilin<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, YU Fengguo<sup>2</sup>

(1. Beijing Haidian District Special Equipment Inspection &amp; Testing Institution, Beijing 100083, China;

2. China Special Equipment Inspection &amp; Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Since the traditional double-cylinder straight top hydraulic elevator adopts proportional speed control valve to realize the synchronous control of the double-cylinder, its synchronization accuracy is easily affected by the offset load. To improve the synchronous control performance of the system, a closed-loop control strategy of displacement deviation and electrical feedback PID is proposed. The AMESim simulation software is used to establish the system simulation model, and the comparative test is carried out. The simulation results show that the proposed closed-loop control strategy of displacement deviation - electric feedback PID can accurately control the output flow of proportional speed regulating valve to follow the change of displacement deviation under the condition of partial load, and improve the synchronization accuracy of the system.

**Keywords:** AMESim; PID control; synchronization accuracy; hydraulic elevator

## 0 引言

液压电梯是多层建筑中安全、舒适的垂直运输设备,也是厂房、仓库、车库中最廉价的重型垂直运输设备,它集机、电、液于一体,由多个相对独立又相互协调配合的子系统构成。与电动牵引电梯相比,液压电梯具有不需要在顶部安装机房、结构紧凑、承载能力大、无级调速、运行平稳、成本低等优点。随着社会老龄化的到来和高层建筑的日益增多,液压电梯将走进千家万户<sup>[1]</sup>。

良好的同步控制是电梯液压系统最重要指标<sup>[2]</sup>,双缸直顶式液压电梯采用比例调速阀来实现双缸同步控制,比例调速阀同步系统属于流量控制液压同步系统,其主要是通过改变节流口开度的大小来调节流量的大小,从而改变同步执行器中运动件的运动速度,以期达到执行器中运动

件同步的目的,具有组成结构简单、经济成本低、操作维修方便等优点<sup>[3-4]</sup>。但也存在同步精度和效率较低、同步精度受系统流量压力变化影响的缺点<sup>[5-6]</sup>。

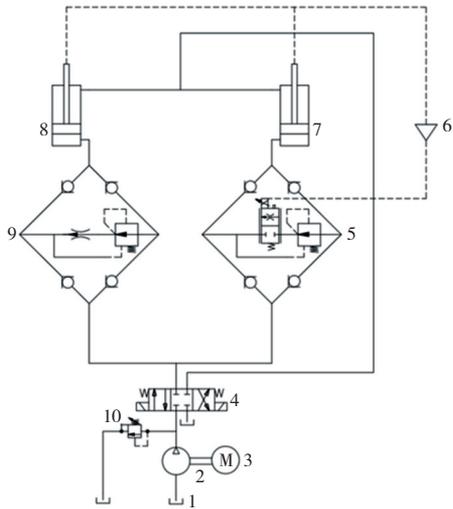
鉴于此,在传统双缸直顶式液压电梯同步控制系统的基础上,提出了一种位移偏差-电反馈PID闭环控制策略,建立了系统AMESim仿真模型,并进行试验和对比分析。所得结论对比例调速阀同步回路研究及优化设计有一定的参考价值。

## 1 比例调速阀同步系统工作原理及PID控制策略

由图1所示比例调速阀液压同步系统工作原理图和图2所示比例调速阀液压同步回路系统控制原理图可知,系统由位移传感器提取系统中执

**第一作者简介:**张纪文(1983—),男,山东章丘人,高级工程师,硕士,研究方向为控制工程,zuimiezentdn858@163.com。

行元件位移信号,进行求差计算后转换为相应的电信号,通过信号电路比较处理后,将其和系统的输入信号进行比较,比较后的偏差信号由主控制器控制送入 D/A 进行转换后经过位移偏差-电反馈 PID 闭环控制器进行纠偏控制调节后对比例调速阀进行控制,从而达到控制比例调速阀输出流量的目的。最终实现了液压执行机构同步工作,形成闭环反馈控制。



1—油箱;2—液压泵;3—电动机;4—三位四通电磁换向阀;5—调速阀组件 2;6—控制器;7、8—液压缸;9—调速阀组件 1;10—溢流阀。

图 1 比例调速阀液压同步系统工作原理

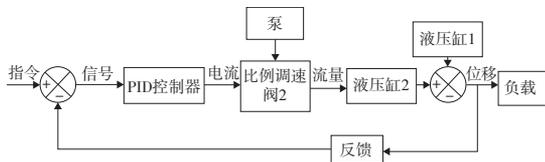


图 2 比例调速阀液压同步回路系统控制原理图

## 2 建模及 AMESim 仿真分析

### 2.1 模型建立

根据比例调速阀液压同步系统结构及工作原理,利用 AMESim 仿真软件<sup>[7-8]</sup>建立的比例调速阀液压同步系统工作原理仿真模型如图 3 所示。

### 2.2 参数设置

根据比例调速阀液压同步系统结构及工作原理,设定系统主要元件 AMESim 各模块的参数如表 1 所示。

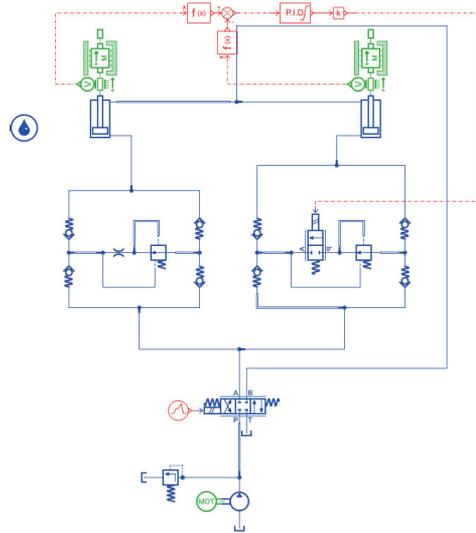


图 3 比例调速阀同步回路系统 AMESim 仿真模型

表 1 参数设置

模块名称	参数值
比例调速阀阀芯质量/kg	0.1
比例调速阀预紧力/N	10
比例调速阀弹簧刚度/(N/m)	2 000
比例调速阀阀芯直径/mm	10
液压缸质量/kg	1
液压缸直径/mm	50
液压缸活塞直径/mm	15
液压泵转速/(r/min)	1 500
液压泵排量/(mL/r)	25
溢流阀设定压力/MPa	15

### 2.3 仿真分析

如图 4 所示,设定电磁换向阀 0~3 s 内输入信号为-40。设定两种不同的负载工况:工况 1 为相同负载工况,轻载液压缸负载设定为 10 N,重载液压缸负载设定为 10 N;工况 2 为偏载工况,轻载液压缸负载设定为 10 N,重载液压缸负载设定为 10 kN。仿真时间为 3 s,仿真步长为 0.01 s,进行仿真。

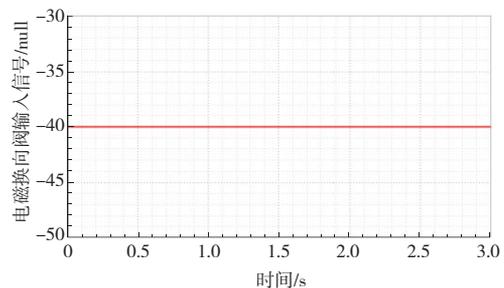


图 4 电磁换向阀输入信号曲线

图 5 所示为不同工况下传统开环比例调速阀

同步回路液压缸位移变化及位移偏差曲线图。由图 5(a)可知,经过约 1.9 s 时间两液压缸运行到行程终点 1 m;由图 5(b)可知,经过约 1.9 s 时间两液压缸运行到行程终点 1 m,但重载液压缸启动滞后于轻载液压缸约 0.1 s;由图 5(c)可知,相同负载工况下运行过程中两液压缸同步偏差值基本稳定在 0.001 3 m;偏载工况下运行过程中两液压缸同步偏差值随着运行时间的增加而加大,最大值达到 0.071 0 m。

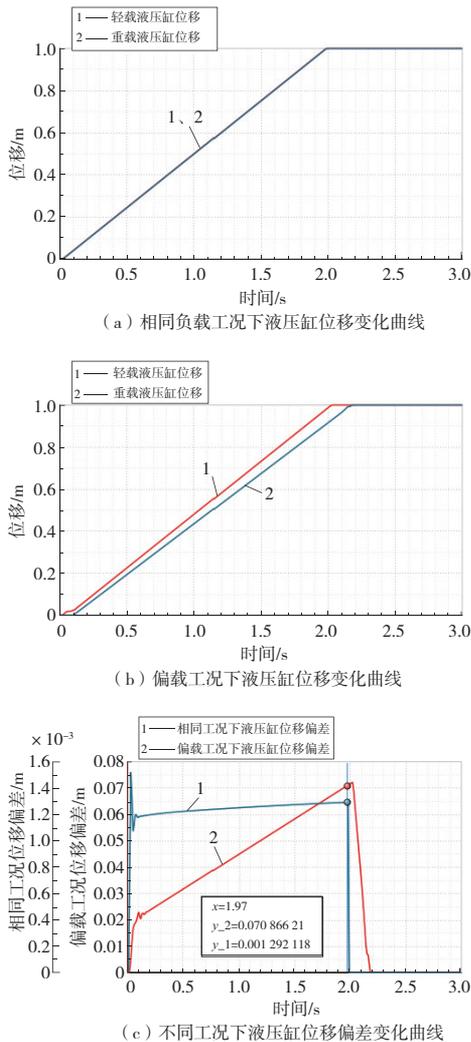


图 5 不同工况下传统开环比例调速阀液压同步回路系统液压缸位移及差值变化曲线

图 6 所示为不同工况下改进 PID 闭环控制比例调速阀液压同步回路系统中液压缸位移变化及位移偏差曲线图。图 6(a)为相同负载工况下两液压缸位移变化曲线,由图 6(a)可知,经过约 1.9 s 时间两液压缸运行到行程终点 1 m;图 6(b)为偏载工况下两液压缸位移变化曲线,由图 6(b)可知,经过约 1.9 s 时间两液压缸运行到行程终点 1 m,但重载液压缸启动滞后于轻载液压

缸约 0.1 s;图 6(c)为不同工况下液压缸位移偏差变化曲线,由图 6(c)可知,相同负载工况下运行过程中两液压缸同步偏差随着时间的增加由 0.001 2 m 降低到 0.000 4 m;偏载工况下运行过程中两液压缸同步偏差值在开始时较大,1.5 s 之后基本稳定在 0.004 3 m。

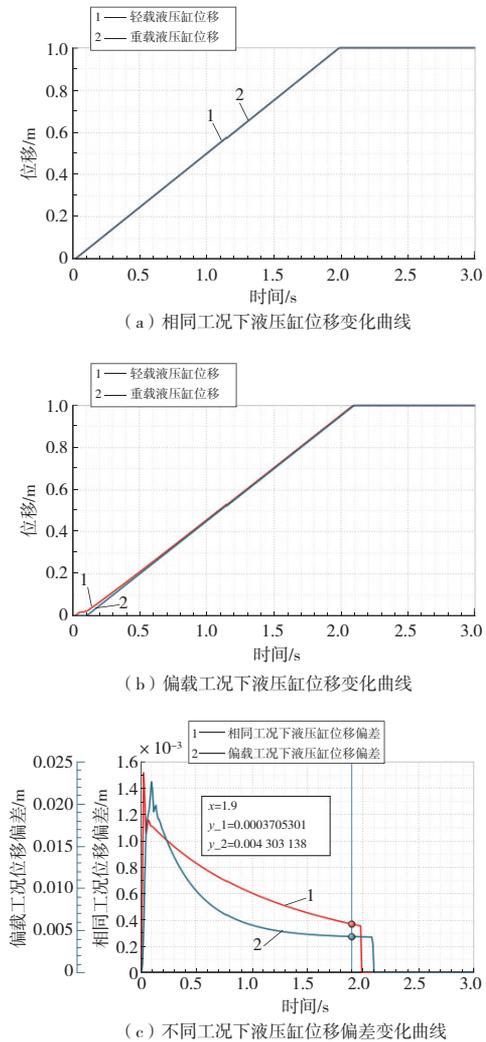


图 6 不同工况下改进 PID 闭环控制比例调速阀液压同步回路系统液压缸位移及差值变化曲线

在相同负载工况下,传统开环比例调速阀液压同步回路系统运行过程中两液压缸同步偏差值基本稳定在 0.001 3 m,而改进 PID 闭环控制比例调速阀液压同步回路系统两液压缸同步偏差随着时间的增加由 0.001 2 m 降低到 0.000 4 m。在偏载工况下,开环比例调速阀液压同步回路系统运行过程中两液压缸同步偏差值随着运行时间的增加而加大,最大值达到 0.071 0 m,而改进 PID 闭环控制比例调速阀液压同步回路系统运行过程中两液压缸同步偏差值在开始时较大,1.5 s 之后基本稳定在 0.004 3 m。

仿真结果表明:改进后的 PID 闭环控制比例调速阀液压同步回路系统在相同负载及偏载工况下的运行性能较传统系统都有了较大的改善,偏载时同步性能提升尤其明显。

### 3 结语

基于传统双缸直顶式液压电梯比例调速阀同步控制系统,提出了一种位移偏差-电反馈 PID 闭环控制策略,建立了系统 AMESim 仿真模型,并进行试验和对比分析,得到如下研究结论:

1)传统开环比例调速阀液压同步回路系统在两种工况下同步偏差分别为 0.001 3 m、0.071 0 m,偏载工况下同步误差增大,同步精度大大降低;

2)改进 PID 闭环控制比例调速阀液压同步系统在两种工况下的同步偏差分别为 0.000 4 m、0.004 3 m,两种工况下同步精度较传统开环比例调速阀同步系统都有较大提高。

### 参考文献:

- [1] 朱小明,华国荣,杨丽红. 电梯多级缸液压系统的设计与仿真研究[J]. 中国电梯,2022,33(15):6-10.
- [2] 钟佳炜. 直顶式液压电梯控制系统优化及稳定性控制策略研究[D]. 苏州:苏州大学,2018.
- [3] 李瑞川,袁文涛,丁馨铠,等. 闭环控制下液压同步系统研究与发展综述[J]. 现代制造工程,2023(2):137-147.
- [4] 魏海涛,魏海锋,张晓丽,等. 基于 AMESim 的调速阀控同步升降系统仿真研究[J]. 锻压装备与制造技术,2023,58(2):72-76.
- [5] 郭晓松,祁帅,于传强,等. 工程机械的节流调速液压回路仿真分析[J]. 机床与液压,2009,37(6):206-208.
- [6] 刘建实,丁海港,李皓楠,等. 巷道临时支护支架推移油缸液压同步系统设计[J]. 液压与气动,2017(3):73-76.
- [7] 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.
- [8] 付永领,齐海涛. LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011.

收稿日期:2023-04-28

(上接第 159 页)

第一种方式:在 HMI 手动控制界面上按下启动按钮后再按下单步按钮,PLC 程序中的流程控制指令开始一步步地执行;TIA 软件通过 PLCSIM Adv 的通信方式使 NX MCD 中的拉耳剪刀组件完成拉耳带气缸伸出,通过 HMI 上面的界面中表示的拉耳带气缸的状态灯亮起,在 FluidSIM-P 气动软件中拉耳带气缸气动回路中的气缸元件伸出,随着 PLC 中程序的变化,这几个软件同步动作;在 HMI 的自动界面中按下启动按钮后拉耳剪刀组自动完成整个流程。

第二种方式:直接按下 FluidSIM-P 气动软件电路仿真中的启动按钮元件,电路仿真中的 PLC 输出信号使得电磁阀线圈得电动作,驱动 FluidSIM-P 气动软件中拉耳带气缸元件伸出,同时 FluidSIM-P 软件通过 OPC (KEPSERVER)链接了 TIA 软件,使得 TIA 程序能够执行并控制 MCD 中的拉耳带气缸模型伸出。其他气缸的动作也是类似,这里不再赘述。

### 5 结语

本文通过 TIA 软件连接了拉耳剪刀组件的机电一体化设计软件 NX MCD 和气动回路设计软件 FluidSIM-P 软件,实现了气动回路设计、PLC 电路设计、HMI 设计、PLC 程序软件的联合虚拟调

试,既可以提前验证口罩机装配单元拉耳剪刀组件的机电一体化控制设计方案的可行性和合理性,也可以把不直观的原理性设计和直观的机械动作设计结合在一起,为现场设备的调试节省了时间,加快了口罩生产的效率。本文为口罩机的组件设计提供了一种基于 NX MCD 总体设计方案虚拟调试的方法和案例。

### 参考文献:

- [1] 张向文,田凯,王子涵,等. 基于数字孪生的虚拟调试技术在冬奥中应用研究与实践[J]. 中国航天,2022(3):29-32.
- [2] 侯星宇,赵飞,王骏. 基于 MCD-TIA 的换刀装置机电虚拟调试[J]. 煤矿机械,2022,43(6):75-77.
- [3] 廉磊. 基于 NX MCD 的机器人激光熔覆系统虚拟调试研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2020.
- [4] 林裕程,韩勇. 基于 NX MCD 的数控机床虚拟调试[J]. 制造技术与机床,2021(2):151-156.
- [5] 郑魁敬,代方园,廉磊. 基于 NX MCD 的机器人磨削系统虚拟调试[J]. 组合机床与自动化加工技术,2019(12):57-60,64.
- [6] 亢宗楠,康献民,李宏宇,等. 基于数字孪生的机电系统虚拟调试应用[J]. 机械制造与自动化,2022,51(2):199-202.
- [7] 赵永信,度国旭,吴坚,等. 基于 TCP 的气动手爪 MCD 模型虚拟调试的研究[J]. 机床与液压,2022,50(3):70-72.

收稿日期:2023-07-05