

# 一种阀控液压马达控制系统的优化设计

郑黎明<sup>1</sup>,鲁鹏涛<sup>2</sup>

(1. 西安交通工程学院,陕西 西安 710300;

2. 西安航天华威化工生物工程有限公司,陕西 西安 710300)

**摘要:**为提高液压马达输出功率的稳定性,以保持其良好的负载能力为目标,设计一种恒定功率自动控制系统。介绍阀控液压马达控制系统的基本结构与工作原理,搭建了系统模型并进行仿真分析。以比例换向阀、传感器、PID控制环节为设计核心,完成阀控液压马达PID控制系统的优化设计,利用AMESim绘制具有PID控制环节的阀控液压马达控制系统仿真模型。进行PID控制系统的仿真实验,分析在负载不断变化情况下一般控制系统与PID控制系统的负载变化特征。结果证明:PID控制系统具有较好的系统压力调节作用,增强了阀控液压马达控制系统的精度和负载能力。

**关键词:**液压马达;PID;优化;仿真

**中图分类号:**TH137.51 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0065-04

## Optimal Design of Valve-controlled Hydraulic Motor Control System

ZHENG Liming<sup>1</sup>, LU Pengtao<sup>2</sup>

(1. Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710300, China;

2. Xi'an Aerospace Huawei Chemical and Biological Engineering Co., Ltd., Xi'an 710300, China)

**Abstract:** In order to improve the stability of output power of hydraulic motor and keep its good load capacity, a constant power automatic control system is designed. With the introduction of the basic structure and working principle of the valve-controlled hydraulic motor control system, the system model is built and the system simulation is conducted. With the proportional directional valve, sensor and PID control as the design core, the optimization design of the PID control system of the valve-controlled hydraulic motor is completed, and the simulation model of the valve-controlled hydraulic motor control system with PID control link is drawn by AMESim. The simulation experiment of PID control system is carried out to analyze the load variation characteristics of general control system and PID control system under the condition of constant load change. The results show that the PID control system has a good pressure regulation function and enhances the accuracy and load capacity of the valve controlled hydraulic motor control system.

**Keywords:** hydraulic motor; PID; optimization; simulation

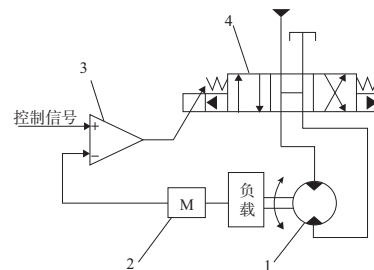
## 0 引言

在液压系统中,液压马达是常见的驱动装置,它将液压油压力能转化为机械能驱动负载工作,具有功率密度高、动作灵敏、易于实现无级变速控制等优点<sup>[1-2]</sup>。当负载产生变化时,输出转矩也随之改变。为适应负载变化,则需要液压马达适时改变自身排量来控制其转速,进而保证功率恒定和负载能力。由此可见,面对外部负载的连续变化(突变载荷、交变载荷),液压马达能否根据外部负载变化及时做出调整,成为实现其稳定运转的关键。因此,如何在保证液压马达原有性能的同时,提高其工作的稳定性及可靠性,成为值得研究的课题。本文以常见的阀控液压马达控制系统为背景,设计了一种提高液压马达负载能力的自动控制系统。通过PID反馈环节对阀控液压马达的自适应控制,提高液压马达在负载不断变化等特殊条件下运行的可靠性,扩大了液压马达的使用范围与效率。

## 1 阀控液压马达控制系统

### 1.1 基本结构

如图1所示,阀控液压马达控制系统由伺服放大器、电液伺服阀、液压马达、测速电动机等组成<sup>[3]</sup>。



1—液压马达;2—测速电动机;3—放大器;  
4—电磁比例换向阀。

图1 阀控液压马达控制系统

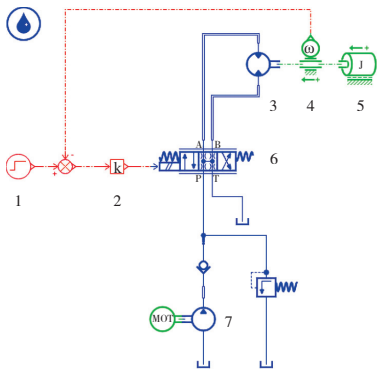
### 1.2 工作原理

阀控液压马达控制系统工作原理如下:先将测速电动机的机轴与负载机轴通过联轴器进行连接;测速电动机在完成负载机轴速度检测后将检测到的速度信号与指令信号经比较器进行比较,其产生的差值信号经伺服放大器放大,产生相应比例的电流控制电磁比例换向阀的阀芯位置,同时液压系统输出压力油驱动液压马达及负载旋转,进而实现自适应控制,提高液压驱动装置的可靠性。

### 1.3 仿真模型及参数

#### 1) 仿真模型

运用 AMESim<sup>[4-6]</sup> 建立了对应的仿真模型,如图 2 所示。



1—控制信号;2—放大器 3—液压马达;4—传感器;  
5—测速电机;6—电磁比例换向阀;7—液压泵。

图 2 阀控液压马达控制系统模型

#### 2) 元件参数

根据图 2 建立的仿真模型进行相应元件的参数设置,如表 1 所示。

表 1 模型元件参数

技术指标	参数/单位	数值
排量	$V_{p1}/(\text{mL/r})$	120
位移速度	$n_p(\text{r/min})$	1 000
从 P 到 A 的最大流量	$l(\text{L/min})$	500
最大流量时压降(从 P 到 A)	$\Delta p/\text{MPa}$	8
额定电流	$I/\text{mA}$	30
液压马达		默认值
传感器		默认值
测速电机位移	$V_m/(\text{mL/r})$	105
控制信号		默认值
放大比例系数	$k$	40/1 142

表 1 中阀控液压马达控制系统的放大比例系数  $k$  的计算公式可以表示为

$$k = \frac{40n_p V_{p1}}{V_m} \quad (1)$$

根据表 1 阀控液压马达控制系统参数,带入式(1)得到控制系统的放大比例系数  $k = 40/1 142$

### 1.4 模型仿真分析

根据图 2 的仿真模型及表 1 的参数进行仿真,其结果如图 3 所示。

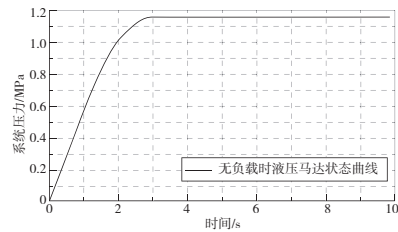


图 3 模型的状态曲线

从图 3 的无负载时液压马达状态曲线可以证明文中所设计的阀控液压马达控制系统仿真模型具有较好的控制性能,控制系统在无负载时能快速达到恒定功率并输出。

## 2 液压马达控制系统实际模型与仿真

在实际的控制过程中,阀控液压马达控制系统应该驱动负载进行工作,因此本文结合已有的仿真模型进行了带载荷设计,其仿真模型如图 4 所示。

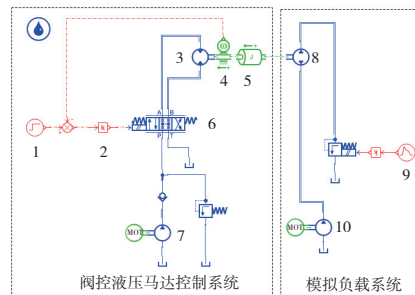


图 4 带载荷阀控液压马达控制系统

图 4 中的液压泵 8、控制信号 9、液压泵 10 组成了模拟负载系统,其参数如表 2 所示。图中液压泵 8 通过机械轴与测速电机联接进行加载。

表 2 模拟负载系统参数

技术指标	参数/单位	数值
负载泵	$V_{p2}/(\text{mL/r})$	125
控制信号		1 s 时控制信号衰减到 0.1, 衰减时间 2 s
液压泵	$V_{p3}/(\text{mL/r})$	120

结合负载系统的仿真模型及表 2 中的元件参数,负载系统的工作过程如图 5 所示。

如图 5 所示,负载系统在控制信号的作用下,在运行 1 s~3 s 之间有一次短暂且急剧的压力变化过程。仿真过程中模拟了突变载荷,并作用于测速系统。

结合图 4、表 1、表 2,进行了仿真实验,得到了阀控液压马达的负载变化状态,如图 6 所示。

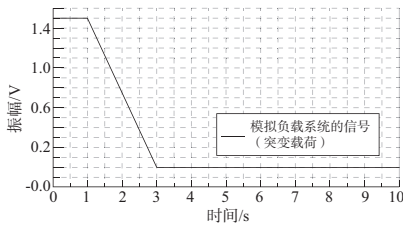


图5 负载系统的工作过程

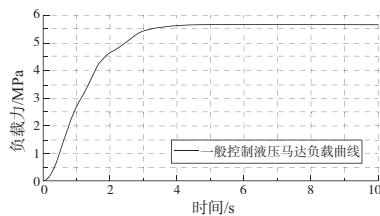


图6 阀控液压马达的负载变化曲线

图6与图3无负载时液压马达状态变化曲线相比较,由于受到负载变化的影响,在前4s的时间内负载变化较为明显,延迟了所需时间。

### 3 控制系统的优化设计与仿真

#### 3.1 PID 控制环节

为了减少负载对阀控液压马达控制系统的影响,提高其稳定性,结合PID控制环节,进行控制系统的优化设计<sup>[7-8]</sup>。PID控制器的最终输出是对比较器误差进行比例、积分和差分处理后的线性组合。PID控制器有3个参数决定系统的最终输出和控制性能。

本文结合图6在AMESim仿真环境中得到了不同时刻负载变化参数及相对差值,如表3所示。

表3 负载变化参数及相对差值

系统工作时间/s	负载力/MPa	相对差值/MPa
0.3	1.44	$\Delta P_0 = 1.70$
0.8	2.15	$\Delta P_1 = 1.53$
1.0	2.69	$\Delta P_2 = 1.19$
1.5	3.88	$\Delta P_3 = 0.74$
2.0	4.63	$\Delta P_4 = 0.41$
2.5	5.05	$\Delta P_5 = 0.38$
3.0	5.43	$\Delta P_6 = 0.13$
3.5	5.57	$\Delta P_7 = 0.08$
4.0	5.65	$\Delta P_8 = 0.07$

本文利用Matlab的PID模块,结合表3通过设置相应的参数,创建S函数,并在Matlab中建立PID仿真模型。通过调试及验证,文中PID控制器<sup>[9]</sup>的参数为 $P=0.3, I=5$ 和 $D=0.01$ 。将该组参数代入PID仿真模型,得

到了其特征曲线,如图7所示。

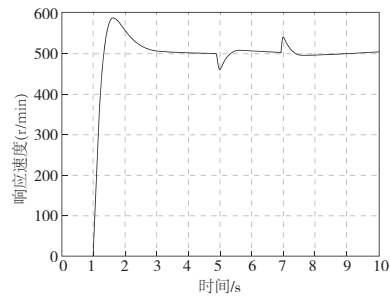


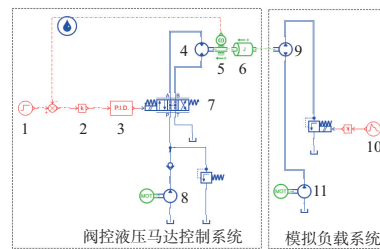
图7 PID仿真模型特征曲线

由图7可以看出,PID控制器有较好的系统调节能力,提高了控制系统的响应速度及抗干扰能力<sup>[10]</sup>。

#### 3.2 控制系统的PID优化与仿真

##### 1) 控制系统的PID优化

本文将图3中的PID控制环节,引入到图4液压马达控制系统的实际模型,如图8所示。



1—控制信号;2—放大器;3—PID环节;4—液压马达;  
5—传感器;6—测速电机;7—电磁比例换向阀;  
8、11—液压泵;9—负载液压泵;10—负载控制信号。

图8 液压马达PID控制系统

##### 2) 优化系统仿真

结合表1、表2及表3中的PID参数( $P=0.3, I=5, D=0.01$ )进行了仿真实验,其优化后的阀控液压马达控制系统的仿真结果如图9所示。

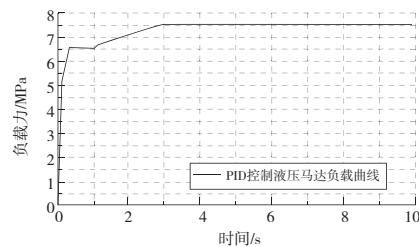


图9 PID控制的负载变化曲线

### 4 仿真结果对比分析

#### 4.1 一般控制系统

图10为一般控制系统负载变化曲线。

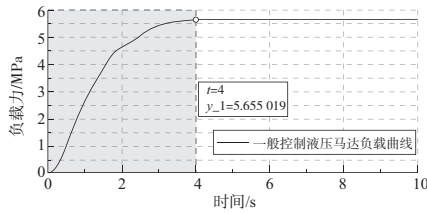


图 10 一般控制系统的负载变化曲线

## 4.2 PID 控制系统

图 11 为 PID 控制系统的负载变化曲线。

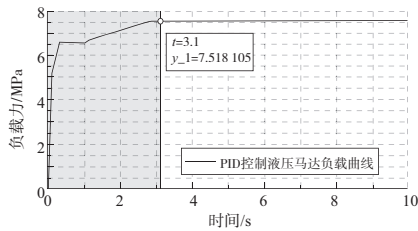


图 11 PID 控制系统的负载变化曲线

## 4.3 结果分析

结合 4.1 与 4.2, 通过多次仿真实验得到相应的实验数据如表 4 所示。

表 4 仿真实验数据

运行时间/s	一般控制系统 负载力/MPa	PID 控制系统 负载力/MPa
1.0	1.97	5.93
1.5	3.03	6.50
2.0	4.75	6.98
2.5	5.27	7.03
3.0	5.46	7.51
4.0	5.65	7.51
4.5	5.65	7.51

1) 由表 4 可知, 一般控制系统运行 4 s 后达到稳定状态, 其系统负载力为 5.65 MPa。PID 控制系统运行 3 s 后达到稳定状态, 其系统负载力为 7.51 MPa。证明 PID 控制系统使液压马达更早达到了稳定状态。

2) 一般控制系统在面对突变载荷影响时, 系统有明显抖动且需要较长时间达到稳定状态。而 PID 控制系统在面对突变载荷影响时, 虽然系统在 1 s~3 s 时间段内有一定的压力波动, 但波动变化较为平稳。

3) 采用 PID 环节进行控制系统优化后, PID 控制系统的压力当前值高于一般控制系统, 有效地补偿了工作油路, 提高了工作油路(液压马达油路)的负载能力与稳定性。

## 5 结语

本文首先介绍了阀控液压马达控制系统的结构与工作原理, 通过模型的建立与仿真发现: 当阀控液压马达工作系统的负载连续或突然改变时, 造成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、PID 控制环节为设计核心, 阐述了一种具有 PID 控制环节的阀控液压马达控制系统, 通过 PID 调节向工作系统成比例进行压力输入, 进而达到稳定系统压力, 提高负载能力的作用; 最后, 以 AMESim 为手段搭建了一般控制系统与 PID 控制系统的仿真模型, 并进行了仿真实验。通过结果的对比分析, 表明 PID 控制系统起到了较好的系统压力调节作用, 增强了阀控液压马达工作系统的负载能力, 保持了工作系统的可靠性与稳定性, 具有一定的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 林文城. 基于 PLC 的恒功率液压马达自动控制系统设计[J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2021, 20(4): 128-131.
- [2] 王润洁. 带式输送机液压驱动系统的设计[J]. 机械管理开发, 2021, 36(1): 35-37.
- [3] 王野牧, 杨智超, 何松. 电液伺服比例综合实验台阀控液压马达控制系统研究[J]. 机械制造与自动化, 2011, 40(3): 161-163.
- [4] 雷亚军, 杨建辉, 韩春福, 等. 基于 AMESim 的综采工作面远距离供液系统仿真分析[J]. 煤矿机械, 2021, 42(12): 172-175.
- [5] 杨国来, 张国强, 郭霁贤, 等. 基于 AMESim 和 ADAMS 的内曲线液压马达联合仿真研究[J]. 液压气动与密封, 2022, 42(4): 11-13, 18.
- [6] 张于贤, 李昭, 林静. 基于 AMESim-Simulink 的深海加压系统 PID 控制仿真分析[J]. 机床与液压, 2022, 50(3): 167-170.
- [7] 吴翠红, 郝芯. 多缸液压机的模糊自整定积分分离 PID 同步控制[J]. 锻压技术, 2022, 47(3): 146-153.
- [8] 汪志能, 刘衡, 董楚峰. 多缸驱动液压机主动纠偏系统的模糊 PID 控制[J]. 锻压技术, 2022, 47(3): 137-141.
- [9] 陈金宝. PID 自整定控制系统设计[J]. 科技风, 2022(9): 1-3.
- [10] 雷晓顺, 侯帅, 秦璇, 等. 电液比例阀控液压马达系统的模糊 PID 恒速控制[J]. 流体传动与控制, 2016(1): 42-46, 49.

收稿日期: 2022-05-18