

文章编号:1672-6413(2007)01-0059-03

# 基于 MATLAB 的电液比例控制系统仿真研究

朱 凡, 王振华, 孙运强

(中北大学 车辆与动力工程系, 山西 太原 030051)

摘要: 介绍了电液比例控制系统的组成及工作原理, 建立了系统主要控制元件和执行元件的数学模型, 在 MATLAB/Simulink 环境下对系统进行仿真模拟, 给出了仿真结果。

关键词: 电液比例控制; 建模; 仿真; MATLAB

中图分类号: TH137.52; TP391.9 文献标识码: A

## 1 概述

随着科学技术的飞速发展, 电液比例控制技术已不仅仅是一种传动手段, 而逐渐变为一种控制手段, 充当了连接现代微电子技术和大功率控制对象之间的桥梁。电液比例阀也因其控制精度高、反应快的特点, 在高精度的机电一体化系统、工程机械机载驱动系统、大型试验设备中得到广泛的应用。

本文研究的电液比例控制系统主要由指令装置、比例放大器、电液比例阀、液压缸及负载和反馈传感器组成, 见图 1。从指令装置发出的指令信号电压作用

于系统时, 电压信号经比例放大器放大, 产生一个差动的电流  $\Delta i$  去控制电液比例阀阀芯位置。比例阀为直动式电液比例减压阀, 从比例阀输出的油压推动液压缸动作, 最终控制制动器实现制动。从自动控制角度来说, 该系统是一个典型的位置控制系统, 即系统通过控制比例阀输出的压力实现对液压缸活塞杆位移的控制。显然, 系统的性能取决于比例阀、液压缸等元件的特性。为了分析系统的静、动态特性, 我们需建立系统的数学模型, 并以此为据, 对系统进行分析。

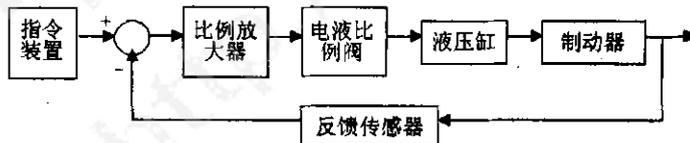


图 1 电液比例控制系统方框图

## 2 系统模型建立

### 2.1 阀控液压缸传递函数的推导

图 2 为三通阀控缸控制的组合装置, 设油源压力为  $p_s$ , 负载压力为  $p_L$ , 且电液比例阀主阀阀芯对称且为零开口, 则主阀的两个对称节流口上的压力差为  $p_v = 0.5(p_s - p_L)$ 。由于主阀节流口可视为锐边, 阀节流口可视为锐边节流口, 其阀的线性流量方程为:

$$Q_L = K_q x_v - K_c p_L \quad (1)$$

式中:  $K_q$  —— 比例阀的流量增益;

$x_v$  —— 比例阀阀芯位移;

$K_c$  —— 比例阀流量—压力系数;

$Q_L$  —— 负载流量。

液压缸进油腔流量  $Q_1$  的连续方程为:

$$Q_1 - C_{ip}(p_1 - p_2) - C_{ep}p_1 = \frac{dV_1}{dt} + \frac{V_1 dp_1}{\beta_e} \quad (2)$$

液压缸回油腔流量  $Q_2$  连续方程为:

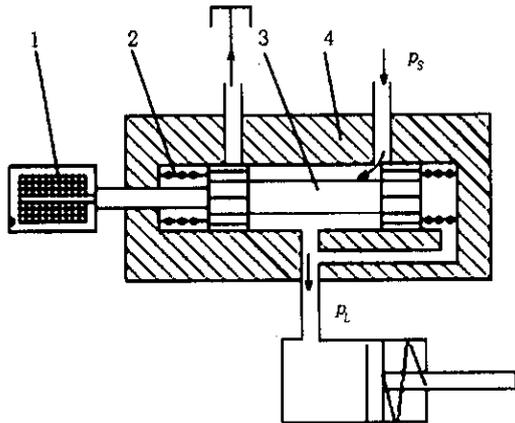
$$Q_2 - C_{ip}(p_1 - p_2) - C_{ep}p_2 = -\left(\frac{dV_2}{dt} + \frac{V_2 dp_2}{\beta_e}\right) \quad (3)$$

式中:  $V_1$  —— 进油腔容积;

$p_1$  —— 进油腔压力;

$V_2$  —— 回油腔容积;

- $p_2$  —— 回油腔压力；
- $C_{ip}$  —— 液压缸内泄系数；
- $C_{ep}$  —— 液压缸外泄系数；
- $\beta_e$  —— 液体的体积弹性模量。



1——比例电磁铁；2——对中弹簧；3——阀芯；4——阀体

图2 三通阀控缸控制示意图

由(2)式和(3)式可以推得流量连续性方程：

$$Q_L = A \frac{dx_p}{dt} + C_{ip} p_L + \frac{V}{\beta_e} \frac{dp_L}{dt} \quad (4)$$

式中： $x_p$  —— 活塞行程；

$C_{ip}$  —— 液压缸总泄系数， $C_{ip} = C_{ip} + C_{ep}/2$ ；

$A$  —— 活塞有效面积；

$V$  —— 液压缸总压缩容积， $V = V_1 + V_2$ 。

其增量的拉氏变换式为：

$$\Delta Q_L = A s x_p + C_{ip} p_L + \frac{V}{\beta_e} s p_L \quad (5)$$

负载模型由负载的非线性力—位移特性及惯性质量两部分组成。活塞动态力平衡方程的拉氏变换式为：

$$A p_L = M_t s^2 x_p + F_L \quad (6)$$

式中： $M_t$  —— 活塞和负载折算到活塞上的总质量；

$F_L$  —— 作用在活塞上的外负载力。

从(1)式、(5)式、(6)式消去  $p_L$  得到：

$$x_p = \frac{\frac{K_q}{A} x_v - \frac{K_{ce}}{A^2} (1 + \frac{V}{\beta_e K_{ce}} s) F_L}{s (\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\xi_h s}{\omega_h} + 1)} \quad (7)$$

式中： $\omega_h$  —— 液压固有频率， $\omega_h = \sqrt{\frac{\beta_e A^2}{V M_t}}$ ；

$K_{ce}$  —— 比例阀总流量—压力系数。  $K_{ce} = K_c + C_{ip}$ ；

$\xi_h$  —— 液压阻尼比， $\xi_h = \frac{K_{ce}}{A} \sqrt{\frac{\beta_e M_t}{V}}$ 。

因此得到活塞行程  $x_p$  对比例阀阀芯位移  $x_v$  的传递函数：

$$\frac{x_p}{x_v} = \frac{K_q/A}{s (\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\xi_h s}{\omega_h} + 1)} \quad (8)$$

同时得到活塞杆行程  $x_p$  对外作用力  $F_L$  的传递函数：

$$\frac{x_p}{F_L} = \frac{-\frac{K_{ce}}{A^2} (1 + \frac{V}{\beta_e K_{ce}} s)}{s (\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\xi_h s}{\omega_h} + 1)} \quad (9)$$

### 2.2 电液比例阀传递函数的推导

电液比例阀既是电液转换元件，也是功率放大元件，它将小功率的电信号输入转换为大功率的液压能输出，在电液比例系统中，将电气部分与液压部分连接起来实现电液信号的转换与放大。

电液比例阀阀芯运动方程可表示为：

$$\frac{d^2 x_v}{dt^2} + 2\delta_v \omega_n \frac{dx_v}{dt} + \omega_n^2 x_v = K_a K_v \omega_n^2 u \quad (10)$$

式中： $\omega_n$  —— 比例阀—3db 的频宽；

$\delta_v$  —— 比例阀的阻尼比；

$K_a$  —— 放大器增益；

$K_v$  —— 比例阀的增益

$u$  —— 比例阀的输入电压。

对(10)式进行拉氏变换得到比例阀的传递函数为：

$$\frac{x_v}{u} = \frac{K_a K_v}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\delta_v s}{\omega_n} + 1}$$

由(8)式、(9)式、(10)式得到系统的控制方框图，见图3。其中， $B_L$  为负载阻尼系数， $K_s$  为负载弹簧刚度。

由图3可知，系统开环传递函数式中的分母为五阶，分析起来较为复杂，仍需进一步简化。通常，与液压缸负载相比，比例阀的响应速度很高，可以看成比例环节，因此，系统开环传递函数  $G_c(s)$  可近似为：

$$G_c(s) = \frac{K_r K_a K_v K_q / A}{s (\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\xi_h s}{\omega_h} + 1)}$$

式中： $K_r$  —— 系统反馈增益。

代入各参数数值，得到系统开环传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{638\ 802.78}{s(s^2 + 121.6s + 369\ 600)}$$

### 3 系统仿真及分析

为评价该系统时域响应的性能指标，需要研究该系统在典型的输入信号作用下的时间响应过程，图4是系统在阶跃函数作用下的响应曲线。从仿真曲线可以看出，响应曲线无波动，系统平稳性好。

### 4 结论

仿真结果及实现过程表明，利用 MATLAB 进行控制系统的建模仿真具有方便、准确的优点。对于具有时变性和非线性的电液比例系统，运用仿真手段，可以快

速获得系统的动态性能曲线，为系统分析提供依据。

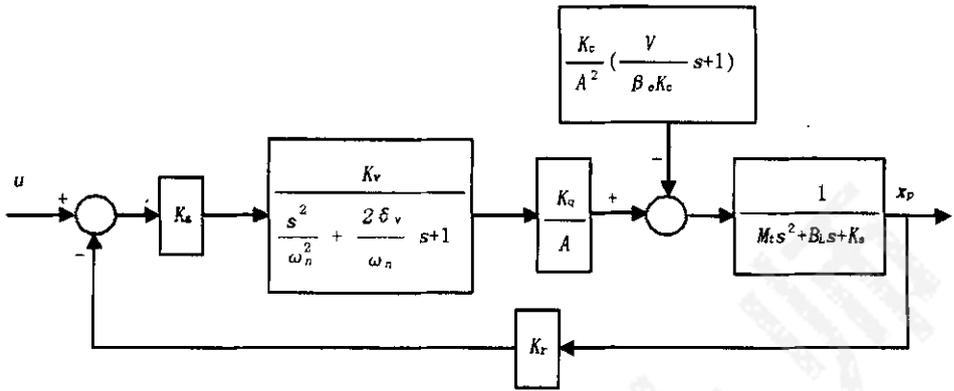


图 3 比例控制系统方框图

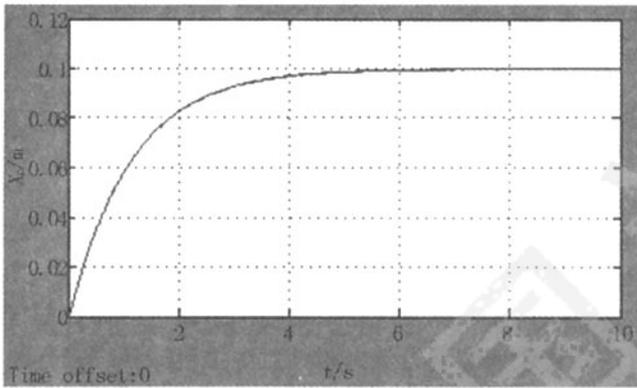


图 4 系统阶跃响应曲线

参考文献：

- [1] 王春行. 液压伺服控制系统[M]. 北京:机械工业出版社, 1981.
- [2] 鄢景华. 自动控制原理[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1999.
- [3] 王正林,王胜开,陈国顺. MATLAB/Simulink 与控制系统仿真[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [4] 许益民. 电液比例控制系统分析与设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.

## Simulation and Studies of Electro-hydraulic Proportional Control System Based on MATLAB

ZHU Fan, WANG Zhen-hua, SUN Yun-qiang

(Department of Vehicle and Power Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** In this paper, the structure and principle of electro-hydraulic proportional control system are introduced, the models of the control component and execution component are builded. In MATLAB/Simulink circumstance, the paper simulates the electro-hydraulic proportional control system, and gives the results of simulation.

**Key words:** electro-hydraulic proportional control; modeling; simulation; MATLAB

=====  
(上接第 58 页)

## Application of Serial Communication Technique in IC Card Selling Food System

WENG Kang-jing, WU Guan-hua, XU Chang-ying

(Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** This paper mainly introduces the method to use the communication controlling components of VB and AT89C2051 singlechips to realize serial communication in IC card selling food system, including the sending and receiving program of the upper PC, the communicating flow chart of lower PCs, and so on.

**Key words:** VB; serial communication; IC card