

负载感应型泵控系统动特性

永青

北京科技大学机械工程学院, 北京 100083

摘要 对负载感应型泵控系统进行理论分析,建立了描述其动特性的数学模型.在此基础上开发了仿真软件.理论计算与实验结果进行对比,说明提出的设置假想容积的方法所建立的数学模型是可靠的.管路中液体按集中参数处理可加快计算速度.

关键词 负载感应,泵控系统,数学模型/液压

中图分类号 TH322, O242.1

某些液压系统(如液压机、注塑机等液压系统),一般情况下,流量为零时所对应的压力较大.这种状态在一个周期内所占的时间较长.为了节省能源,通常采用压力补偿变量泵^[1].近年来又开发了负载感应型(Load Sensing)泵控系统,它不仅能节省能源而且控制精度较高^[2].

但是负载感应型泵控系统,由于作为被控对象的斜盘质量较大,所以与阀控系统相比响应速度较慢.因此,在响应速度要求较高的场合,其应用受到限制.特别是当系统中的某一元件的工作状态发生改变时,(例如换向阀的突然关闭),在液压系统中会产生很高的压力冲击,该压力冲击对主机的性能会产生很大的不良影响.在国内外的有关研究文献中至今尚未见到关于负载感应型泵控制系统的动特性研究.本文建立了负载感应型泵控液压系统的数学模型及动特性仿真程序,并将理论计算与实验结果进行比较,证明它的仿真精度高.研究结果为提高负载感应型泵控制系统的响应速度及减小压力冲击提供理论根据.

1 实验装置方法

负载感应型泵控系统如图1所示.该系统模拟实际注塑机液压系统.各元件为通用元件,其中为了测试轴向柱塞泵斜盘倾角的动态响应,对泵体进行了改造并安装了测量元件.

根据不同的工况,实验分以下3种不同情况进行:

- (1) 节流阀全部关闭,改变比例压力阀的输入电压,实现压力→压力控制.
- (2) 用节流阀设定负载压力,改变比例流量阀的输入电压,实现流量→流量控制.
- (3) 通过节流阀的流量一定,电磁换向阀突然关闭,实现流量→压力控制.

用以上3种方法进行实验时,测量泵出口压力、负载压力和斜盘倾角.

负载感应泵控系统工作原理(以流量→流量控制为例)如下:

当负载流量需要增大时,提高比例流量阀的输入电压,使比例流量阀的开口面积增大,这时泵的出口压力与负载压力的差值迅速减小,压力补偿阀及液动换向阀的阀芯在弹簧力的作用

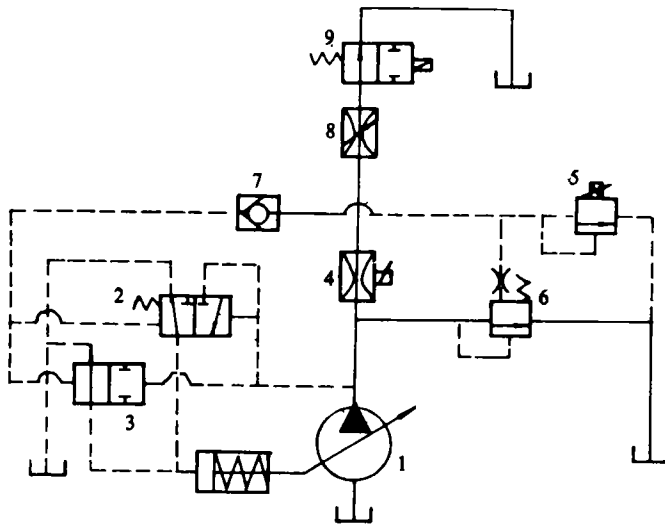


图1 实验装置

- 1 轴向柱塞泵, 2 压力补偿阀, 3 液动换向阀, 4 比例流量阀
5 比例压力阀, 6 安全阀, 7 单向阀, 8 节流阀, 9 电磁换向阀

下移动,使阀处于左位.这样变量活塞带动斜盘倾角增大,泵的排量也随之增大.当泵的输出流量与负载流量相匹配时,换向阀关闭,被控斜盘停止在一个新的设定位置上.

2 理论分析

该系统是一个由复杂的液压管路连接多个液压元件而组成的.对于这样的液压系统,只用所要探讨的泵进出口压力、负载压力等几个变量来建立描述系统特性的数学模型是不可能的.试验采用的方法是先建立单个元件的数学模型,然后通过管路内流体的流量方程,再建立各个元件之间参数的相互关系.一般对于在管路中连接有非线性元件的系统,如果用通常的基础方程式来进行理论分析,那么所得到的系统数学模型是超越代数方程式和常微分方程式联立的方程组.这样就必须用 Newton-Laplace 和 Runge-Kutta 两种方法交替进行求解,其数值计算很复杂.于是,试验采用在不影响系统动特性及数值计算稳定性的前提下,在系统的物理模型中设置微小的假想容积并考虑油液的压缩性,建立流量连续性方程.这样系统的所有变量都可用状态方程表示.最后用 4 阶 Runge-Kutta 法进行数值求解,使计算得到简化.

该系统的未知变量为 78 个,由于篇幅所限,在此只以压力补偿阀为例建立数学模型.

在阀的进出口处设置假想容积并考虑油液的容积效应,其流量连续性方程:

$$\dot{P} = (Q_1 - Q_{v1} - A_1 \dot{Y}_1) / (V_1 / K) \quad (1)$$

$$\dot{P}_2 = (-Q_2 + Q_{v1} - Q_{v2}) / (V_2 / K) \quad (2)$$

$$\dot{P}_3 = (-Q_3 + Q_{v2}) / (V_3 / K) \quad (3)$$

$$\dot{P}_4 = (Q_4 + A_1 \dot{Y}_1) / (V_4 / K) \quad (4)$$

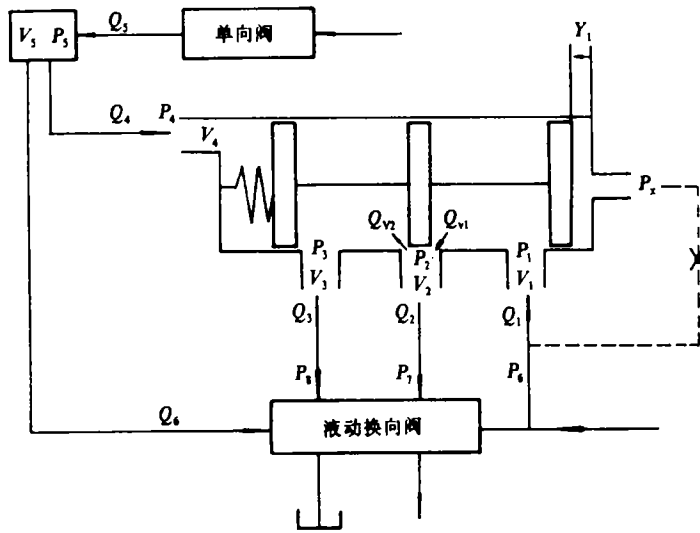


图2 压力补偿阀的物理模型

阀芯运动微分方程:

$$\ddot{Y}_1 = \{A_1(P_x - P_4) - C_1 \dot{Y}_1 - K(Y_1 + Y_{01})\} / m_1 \quad (5)$$

$$P_{x1} = P_6 - (A_1 \dot{Y}_1 / \xi a)$$

阀口流量方程:

$$Q_{v1} = \text{sign}(P_1 - P_2) \cdot \xi A_{v1} (|P_1 - P_2|)^{1/2} \quad (6)$$

$$Q_{v2} = \text{sign}(P_2 - P_3) \cdot \xi A_{v2} (|P_2 - P_3|)^{1/2} \quad (7)$$

按集中参数法考虑连接管路中液体的惯性,则压力补偿阀和其相邻元件之间连接管路的流量方程:

$$\dot{Q}_1 = (P_6 - P_1 - \xi_1 Q_1 |Q_1|) A_{11} / \rho l_1 \quad (8)$$

$$\dot{Q}_2 = (P_2 - P_7 - \xi_2 Q_2 |Q_2|) A_{12} / \rho l_2 \quad (9)$$

$$\dot{Q}_3 = (P_3 - P_8 - \xi_3 Q_3 |Q_3|) A_{13} / \rho l_3 \quad (10)$$

$$\dot{Q}_4 = (P_5 - P_4 - \xi_4 Q_4 |Q_4|) A_{14} / \rho l_4 \quad (11)$$

在分支管路处设置假想容积并考虑油液容积效应,其流量连续性方程:

$$P_5 = (-Q_4 + Q_5 - Q_6) / (V_5 / K) \quad (12)$$

其中: P_i : 管路中各点的压力; Q_i : 管路中的流量; Q_v : 阀口的流量; V_i : 阀进出口及分支管处假想容积体积; A_v : 阀口的开口面积; ξ_i : 阻尼系数; K : 液体的体积弹性系数; A_{ij} : 管路的横截面积; l_i : 管路的长度; Y_i : 阀芯的位移。

用此方法依次建立其它元件的动特性微分方程及连接管路中流体的特性方程,就可得到用 P_i, Q_i, Y_i 为变量的状态方程。

由于参变量多,所以数值求解的关键是寻找最佳的计算时间步长,使计算结果收敛、精度高,而且要尽量缩短计算时间,以便提高其实用性。下面就此问题进行了一些探讨。

本研究在建立数学模型时,起初按照通常的方法,忽略了对系统动特性无很大影响的管路

中液体的惯性. 这样, 在(8)~(11)式中 $Q_i=0$, 状态方程中无变量 Q_i . 这时, 用4阶 Runge-Kutta 法得到稳定解的时间间隔为 2.5×10^{-7} s, 并且还存在着幻影解. 为了消除幻影解, 在建立数学模型时, 用集中参数法考虑管路中液体的惯性. 这样当时间间隔为 2.5×10^{-6} s 时, 就可获得无幻影的稳定解, 加快了计算过程的收敛速度.

3 理论解析与实验结果的分析比较

图3为压力→压力控制的情况下, 系统动特性的理论计算值和实验结果. 由于是压力控制状态, 所以斜盘倾角变化范围小, 而且动态响应前后的静态值几乎一样. 其微小差值是由于泵的流量泄漏及控制活塞的间隙流量不同而引起的. 此现象在理论解析值中得到了准确的反映.

图4为流量→压力控制情况下, 理论计算值和实验结果. 由图可见, 泵的出口压力及负载压力在过渡过程中产生了较大的压力峰值. 其大小约为稳态值的150%. 响应时间约为150 ms. 这正好体现了前面所指出的负载感应泵控系统中有待改进的两个问题.

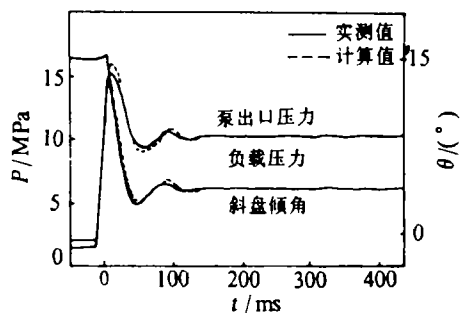


图3 动特性曲线(压力→压力控制)

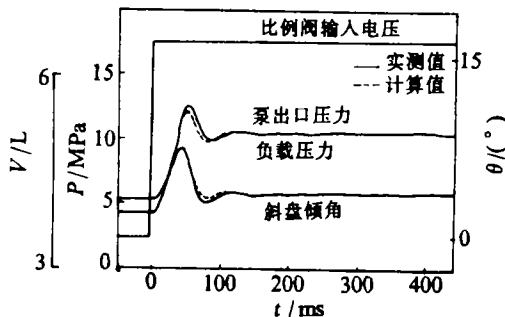


图4 动特性曲线(流量→压力控制)

从以上两图中可以看出理论计算较准确地反映了实际系统的动态过程. 说明数学模型可靠、仿真精度高. 计算值与实验结果的误差为3.5%, 其原因主要是由于连接各元件液压的管路中油液的阻尼系数 ξ , 各元件可动部分运动时的粘性阻尼系数 C_i 以及油液压缩时体积弹性系数 K 等软参量无法精确确定而造成的.

4 结论

- (1) 由理论计算值和实验值的比较结果可知, 本文所提出的在阀口及管路分支处设置假想容积并考虑油液的容积效应的方法正确, 同时由此所得的数学模型可靠, 仿真精度高.
- (2) 管路中液体按集中参数处理可加快计算过程的收敛速度.
- (3) 通过本文数值解析不仅可以掌握负载感应型泵控系统各元件对系统特性的影响, 而且可以了解无法进行实测的某些参数的特性. (如元件中可动部件的位移等).

参 考 文 献

- 1 林建亚. 液压元件. 北京: 机械工业出版社, 1988. 246 ~ 250
- 2 小岛英一. 压力补偿付き可変容量形斜板式ピストンポンプ过渡特性. 油压空气, 1990, 21(6):1 ~ 10

致谢: 感谢日本神奈川大学小岛英一教授的精心指导及助手田正昭的热心帮助.

(下转第162页)

6 结论

本文提出形式化的神经网络知识表示语言及适合本系统的(B-B)BP算法和IMSBP算法.系统增强了解释能力和网络生成的灵活性.试验结果表明:系统在学习速度和控制效果方面是令人满意的.

参 考 文 献

- 1 郑德玲.智能控制系统.北京:冶金工业出版社,1994
- 2 郑君里,杨行峻.人工神经网络.北京:高等教育出版社,1992

Pattern Recognition, Knowledge Representation and Solving Strategy in Neural Network Expert System

Zheng Deling Li Yuhui

College of Automation and Information Engineering, USTB, Beijing 100083, PRC

ABSTRACT The method combining the neural network with the traditional expert system is studied. A new description language for neural network knowledge representation and the concept of knowledge unit is proposed. The knowledge guides in neural network by (B-B) BP and IMSBP. And a Solving Strategy for the neural network positive and negative problem is presented. A example of the heating furnace controlled object by using the description language is given.

KEY WORDS expert system, neural network, state recognition, self-learning

(上接第153页)

Dynamic Characters of Load Sensing Pump Control System

Yong Qing

Mechanical Engineering College, USTB, Beijing 100083, PRC

ABSTRACT The load sensing pump control system has been theoretically analgzed, and its mathematical model is established to describe dynamic characters. Based on them, simulation softwares are developed.The comparision between the theory computation and the experiment conclusios describes that the method of setting up hypothesis volume can establish the reliabale mathematical model. It can accelerate computation speed for the fluid in the tubes to be on the basis of the concentrate parameters processing.

KEY WORDS load sensing, pump control system, mathematical models, hydraulic