

精校机电液位置伺服系统的极点配置自校正控制

陈永新¹, 柯尊忠², 伍德林¹

(1. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036; 2. 合肥工业大学机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

摘要: 常规控制方法很难对变参数系统实现精确控制。建立精校机电液位置伺服系统离散数学模型, 研究其常规控制方法。将极点配置自校正控制理论应用于精校机电液位置伺服系统中, 提出该系统的极点配置自校正控制方法。仿真结果表明, 系统的控制精度和跟踪性能将得以提高。

关键词: 精校机; 电液位置伺服系统; 极点配置自校正控制; 仿真

中图分类号: TP271.31

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)02-0315-03

Pole assignment self-tuning control of the electro-hydraulic position servo system for the precise straightening press

CHEN Yong-xin¹, KE Zun-zhong², WU De-lin¹

(1. School of Engineer, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. School of Machinery and Automobile Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract: The conventional control method is difficult to realize the precise control of variable parameter system. In the paper, we build the discrete mathematical model of electro-hydraulic position servo system for precise straightening press to study the conventional control method. We also introduced a method of pole assignment self-tuning control of the electro-hydraulic position servo system of the precise straightening press by applying theory of pole assignment self-tuning control. The results show that the control precision of the system and tracking performance are improved.

Key words: precise straightening press; electro-hydraulic position servo system; pole assignment self-tuning control; simulation

自动校直技术通过自动校直设备完成对轴、管、棒等类零件的校直, 是机械加工过程中保证产品质量的重要工序。精校机电液位置伺服系统是校直工艺的执行部件, 是保证精校机加工精度的关键。当精校机电液位置伺服系统的参数变化复杂, 且受到扰动的影响时, 用常规的控制方法难以实现精确控制。极点配置自校正控制^[1-2]方法通过对系统闭环传递函数极点的配置可满足系统的性能要求。

1 精校机电液位置伺服系统的离散数学模型及其常规控制

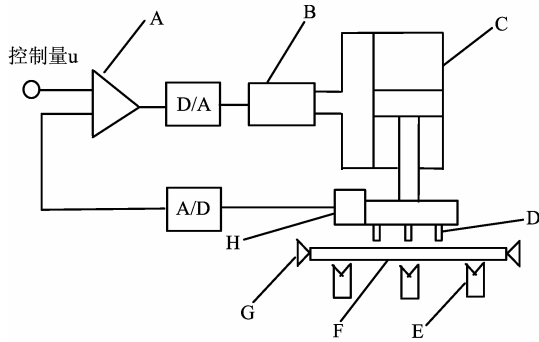
精校机采用位置控制, 位移传感器选用光栅线位移传感器(数显光栅尺)可以满足压头的定位要求, 该光栅尺输出为脉冲信号, 不需加A/D板, 可

直接与计算机接口, 做成单位反馈。由于比例伺服阀的性能已很优越, 为了尽可能使控制方便、可靠, 电液伺服阀选用输出流量与输入电压成比例的比例伺服阀。整个系统采用四通阀控单出杆液压缸式的闭环电液位置伺服系统, YH40-25型精校机液压伺服系统的原理图如图1所示。

精校机通过对工件的反弯变形而校直, 随着行程的变化, 负载也不断变化, 主要为弹性负载。采样周期 $T=0.02$ s, 系统的开环脉冲传递函数为^[3]:

$$W(z) = \frac{K_v(0.000517z + 0.000033)}{z^2 - 0.9945z} \quad (1)$$

其中开环增益 $K_v=25.3 K_a$, 放大器增益 K_a 可调。根据劳思稳定判据可以确定 K_v 的取值范围 $0 < K_v < 4131$ 。由 K_v 的范围对系统进行仿真如图2所示。



A.放大器 Amplifier; B.伺服阀 Servo vavle; C.液压缸 Hydraulic cylinder; D.压头 Pressure head; E.铁砧 Anvil; F.工件 Workpiece; G.顶针 Thimble; H.位移传感器 Displacement sensor

图 1 YH40-25 型精校机液压伺服系统原理图

Figure 1 Principle diagram of hydraulic servo system for YH40-25 precise straightening press

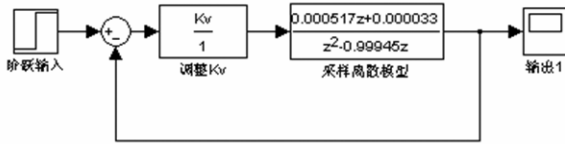


图 2 系统仿真模型

Figure 2 System simulation model

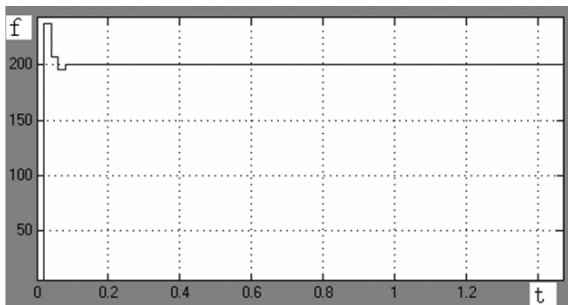


图 3 常规控制系统的阶跃响应

Figure 3 Step response of conventional control system

由仿真结果可知：当系统的超调量控制在 20% 时， $Kv=2\ 300$ ， $Ka=90.9\text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。当系统的调节时间控制在 0.5 s 时， $Kv=260$ ， $Ka=10.3\text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。 $Kv=2\ 300$ 时，系统的开环脉冲传递函数为：

$$W(z) = \frac{1.1891z + 0.0759}{z^2 - 0.99945z} \quad (2)$$

系统的阶跃响应曲线如图 3 所示。从图中可知，系统的响应速度快，超调量适当，稳定性好，能满足系统的性能要求。所以，当负载为弹性负载时，满足系统动态性能取值范围为： $10.3 < Ka < 90.9$ 。

2 精校机电液位置伺服系统的极点配置自校正控制

极点配置的主要思想是寻求一个反馈控制律，

使得闭环传递函数的极点位于希望的位置。

设被控对象的数学模型由以下方程描述^[4-6]：

$$A(z)y(t) = B(z)u(t) + v(t) \quad (3)$$

其中， $u(t)$ 为控制变量， $y(t)$ 为实际输出， $v(t)$ 为扰动， $A(z)$ 、 $B(z)$ 是算子多项式。为简单起见下面直接用 A 、 B 表示，假设 A 和 B 是互质的，且 A 是首 1 多项式。

从参考输入 r 到希望的输出响应 y_m 可由以下动态方程描述：

$$A_m y_m = B_m r \quad (4)$$

当采用状态反馈和观测器相结合时，可得到一种闭环控制系统，其中的观测器的动态特性不受参考输入信号控制，这意味着在输入—输出形式的传递函数中存在着零—极对消。用 A_0 表示附加的观测器的动态特性，观测器多项式应当是稳定的，而且应当快于由 A_m 确定的希望的闭环响应。

采用以下的线性控制器方程：

$$Ru = Tr - Sy \quad (5)$$

控制系统的结构如图 4 所示。

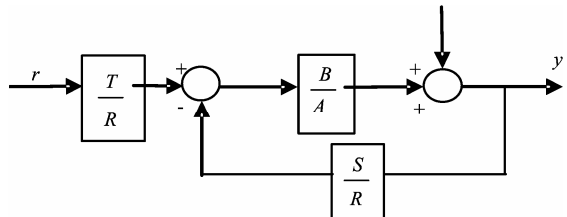


图 4 极点配置自校正控制系统结构图

Figure 4 Structure diagram of pole placement self-tuning control system

由式(4)、(5)可得：

$$y = \frac{BT}{AR + BS} r + \frac{R}{AR + BS} v \quad (6)$$

为了获得希望的输入—输出响应，下列条件必须成立：

$$\frac{BT}{AR + BS} = \frac{B_m}{A_m} \quad (7)$$

上式中分母 $AR + BS$ 是闭环特征多项式。控制器的极点只能与稳定的对象的零点相对消，对象中不稳定的零点和阻尼很差的零点是不希望与控制器的极点相对消。为此将多项式 B 分解成：

$$B = B^+ B^- \quad (8)$$

其中 B^+ 是由稳定的和阻尼良好的零点所组成的多项式，且是首一多项式。这些零点可与控制器的极点对消。闭环特征多项式的其余因子应当是 A_m 和 A_0 ，其中 A_0 是指定的观测器的多项式，这样就得到以下的 Diophantine 方程：

$$AR + BS = A_0 A_m B^+ \quad (9)$$

由于 A 与 B 互质, 由上式知, B^+ 应能除尽 R , 因此有:

$$R = R_1 B^+ \quad (10)$$

$$AR_1 + B^- S = A_0 A_m \quad (11)$$

$$T = A_0 B_m / B^- \quad (12)$$

当被控对象参数未知或慢时变时, 必须使用参数估计算法在线估计出 A 和 B 的系数。

所以, 基于极点配置的间接自校正控制算法描述如下:

第 1 步: 给定多项式 A_m , B_m 和 A_0 。

第 2 步: 用参数估计方法在线估计出 A 和 B 的系数。

第 3 步: 用上一步得到的估计代替 A 和 B , 求解方程 $AR_1 + B^- S = A_0 A_m$

得到 R_1 和 S 。由 $R = R_1 B^+$

计算 R , 再由 $T = A_0 B_m / B^-$ 算出 T 。

第 4 步: 根据控制律方程 $Ru = Tr - Sy$ 计算控制信号 $u(t)$ 。

第 5 步: $t = t + 1$, 返回到第 2 步。

由式(1)可得精校机电液位置伺服系统的数学模型:

$$Ay(t) = Bu(t) + \omega(t) \quad (13)$$

其中: $A = a_2 z^2 + a_1 z$ $B = b_1 z^1 + b_0$

其中 a_2 、 a_1 、 b_1 、 b_0 为 A 和 B 的系数。

算例: 在某确定参数下, 具有弹性负载的精校机电液位置伺服系统的数学模型为:

$$A = z^2 - 0.9945z \quad B = 1.094z + 0.00656$$

$$\text{给定希望的闭环系统为: } \frac{B_m}{A_m} = \frac{0.18}{z^2 - 1.32z + 0.5}$$

$$\text{给定观测器多项式为: } A_0 = (z - 0.5)^2$$

将多项式 B 分解成:

$$B = B^+ B^- = (z + 0.006) \cdot 1.094$$

被控系统中有一个零点为 $z = -0.006$, 它位于单位圆内, 阻尼很好, 可以与控制器的极点对消, 则:

$$B^+ = z + 0.006, \quad B^- = 1.094$$

由 $AR_1 + B^- S = A_0 A_m$ 解得:

$$R_1 = z^2 - 1.3255z + 0.7518$$

$$S = -0.0753z + 0.1143$$

由 $R = R_1 B^+$ 得:

$$R = z^3 - 1.3195z^2 + 0.7438z + 0.0045$$

$$\text{由 } T = A_0 B_m / B^- \text{ 得: } T = 0.1645(z - 0.5)^2$$

由 $Ru = Tr - Sy$ 可得控制律为:

$$u(t) = \frac{0.1645(z - 0.5)^2}{z^3 - 1.3195z^2 + 0.7438z + 0.0045} r(t) - \frac{-0.0753z + 0.1143}{z^3 - 1.3195z^2 + 0.7438z + 0.0045} y(t)$$

对控制系统进行阶跃响应仿真^[7-8], 如图 5 所示。

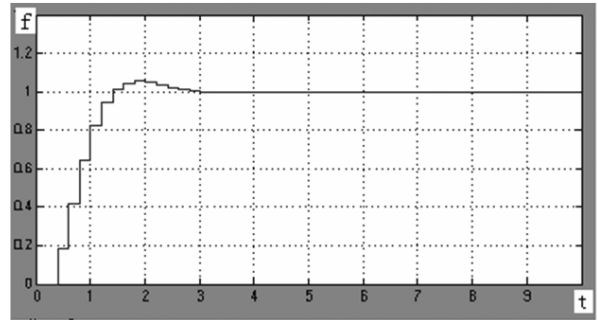


图 5 极点配置自校正控制系统的阶跃响应

Figure 5 Step response of pole placement self-tuning control system

仿真结果表明, 极点配置自校正控制的电液位置伺服系统的动态响应变慢, 超调量小, 跟踪效果良好, 控制精度提高。

3 结论

将极点配置自校正控制理论应用于精校机电液位置伺服系统中, 提出该系统的极点配置自校正控制方法。仿真结果表明: 与常规控制方法相比, 系统的控制精度和跟踪性能将得以提高。

参考文献:

- [1] 胡均平, 杨襄壁. 凿岩工程全参数自适应最优控制理论及实现方法[J]. 成都: 中南工业大学学报, 1998, 29(1): 72-75.
- [2] 马扣根, 顾仲权. 自适应伺服惯性力发生器的特性与应用研究[J]. 南京航空航天大学学报, 1998, 30(4): 366-370.
- [3] 陈永新, 柯尊忠, 陈剑. 精密校直液压机离散电液位置伺服系统的研究[J]. 中国机械工程, 2007, 8: 1-4.
- [4] 韩曾晋. 自适应控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [5] Clark D W, Gawthrop P J. Self-tuning controller[J]. Proc IEE, 1975, 122: 929-934.
- [6] Clark D W, Gawthrop P J. Self-tuning control[J]. Proc IEE, 1979, 126(6): 633-640.
- [7] 梅生伟, 申铁龙, 刘康志. 现代鲁棒控制理论与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [8] The Math Work Inc. Simulink user's guide-dynamic system simulation software for Micro-software Windows[R]. The Math Work Inc, 1993.