

doi: 10.7690/bgzd.2014.04.014

挖掘机反铲铲斗电液比例位置控制器设计

万海兵, 张春华, 王伟

(中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 介绍反铲铲斗电液比例位置全闭环控制系统的构成, 对挖掘机反铲铲斗电液比例位置开环控制系统广义被控对象进行建模分析。针对挖掘机反铲铲斗电液比例位置控制系统非线性及负载变化大等特点, 提出一种非线性函数构造 PID 控制器的方法, 实现系统的位置控制。分别对传统 PID 控制器与非线性 PID 控制器的电液比例位置控制进行系统仿真, 仿真结果表明: 采用非线性 PID 控制器可提高速度, 减小超调, 满足系统设计要求。

关键词: 挖掘机; 建模; 非线性 PID

中图分类号: TP332 **文献标志码:** A

Excavator Backhoe Bucket Electro-hydraulic Proportional Position Controller Design

Wan Haibing, Zhang Chunhua, Wang Wei

(Department of Military Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: Introduce excavator backhoe bucket electro-hydraulic proportional position closed-loop control system composition, carry out modeling and analyzing excavator backhoe bucket electro-hydraulic proportional position open-loop control system of generalized controlled object. Aiming at the nonlinear and big load variation features of excavator backhoe bucket electro-hydraulic proportional position control system, put forwards a method that nonlinear function to establish PID controller, and realize system position control. Carry out system simulation separately for electro-hydraulic proportional position control of traditional PID controller and non-linear PID controller. The simulation result shows that the use of nonlinear PID controller can improve the rapidity and reduce overshoot of the system. It also satisfies system design requirement.

Keywords: excavator; modeling; nonlinear PID

0 引言

PID 控制广泛地应用于运动控制, 其比例作用可以加快响应速度, 积分作用可以减少稳态误差, 微分作用可以抑制超调。但另一方面, 积分作用容易导致积分饱和, 使系统超调量增大, 微分作用对高频干扰特别敏感, 甚至导致系统失稳。

自适应控制的控制对象必须是参数慢变的, 对于挖掘机这样的液压伺服系统很难发挥自适应控制系统的自适应、自调整的特性。滑模控制容易引起系统的高频振荡造成系统的不稳定。制定模糊控制的控制规则需要大量的专家经验和实验数据的分析, 并且适应性不强, 设计周期长^[1-2]。

经仔细分析和比较之后, 笔者采用非线性 PID 控制算法作为反铲铲斗关节控制器的基本控制算法。该算法实现简单, 可以使 PID 控制中的参数具有自调节功能。

1 反铲铲斗电液比例位置系统构成

如图 1 所示, 反铲铲斗电液比例位置系统由控

制器、驱动器、电液先导比例减压阀、LUDV 多路阀、液压缸、反铲铲斗、拉线盒绝对式编码器等组成。拉线盒绝对式编码器用于检测铲斗液压缸活塞杆的位移量。

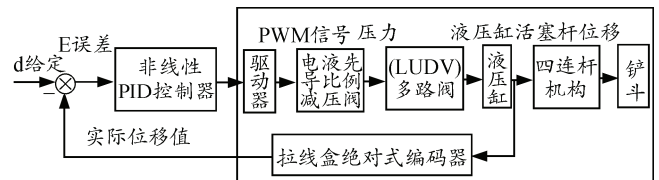


图 1 挖掘机反铲铲斗电液比例位置系统

控制器主要由 DSP28335 构成。DSP 与主控计算机及编码器都通过 CAN 总线连接。由主控计算机给定液压缸活塞杆的目标位置量, 控制器采集编码器测得的液压缸活塞杆位移量作为反馈, 将目标位置量与反馈之差作为控制器的输入, 再经过控制器运算后向驱动器发送控制量, 驱动器产生脉宽调制信号 PWM, 通过调节 PWM 信号的占空比, 改变输出到电液先导比例减压阀的电压大小, 电液先导比例减压阀是一个比例环节, 因此可以控制 LUDV 多路阀的输入压力, 从而控制液压缸流量, 进而通

收稿日期: 2013-11-02; 修回日期: 2013-12-06

作者简介: 万海兵(1987—), 男, 江苏人, 硕士, 从事控制理论与控制工程研究。

过液压缸活塞杆驱动四连杆机构，实现铲斗的旋转运动。

2 反铲铲斗电液比例位置系统建模

由于反铲铲斗电液比例位置开环控制系统的非线性特性强，难以建立精确的数学模型。但为了便于系统分析，将反铲铲斗电液比例位置开环控制系统等效为二阶系统，采用单位阶跃响应法建立被控对象的数学模型如下：

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{\omega_n^2}{(S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2)} \quad (1)$$

将驱动器、电液先导比例减压阀、LUDV 多路阀、液压缸、反铲铲斗、拉线盒绝对式编码器等作为一个广义的被控对象，如图 1 所示。

由控制器输出阶跃信号作为驱动器的速度输入，采集拉线盒绝对式编码器的输出位移量 Y ，差分得到速度值 V 作为输出信号，为了减小量化误差，将实验得到的输出信号 V 在 Matlab 中拟合成曲线，拟合阶数为 20^[3]。如图 2 所示。

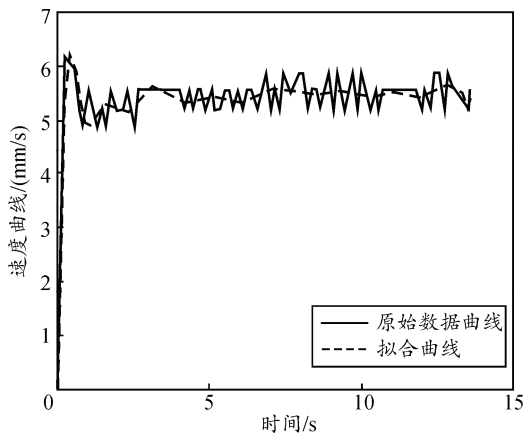


图 2 反铲铲斗电液比例位置开环控制系统阶跃响应拟合曲线

根据阶跃响应性能指标的定义，在图 2 中得到峰值时间常数 t_p 及上升时间 t_r ， $t_p=0.45$ s， $t_r=0.3$ s。根据计算公式：

$$\begin{cases} \omega_d = \frac{\pi}{t_p} \\ t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \\ \zeta = \cos \beta \\ \omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1 - \zeta^2}} \end{cases} \quad (2)$$

计算得出 $\zeta=0.5$ ， $\omega_n=8$ 。

将参数 ζ 、 ω_n 代入式 (1)，得到反铲铲斗电液比例位置开环控制系统广义被控对象的传递函数为：

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{64}{s^2 + 8s + 64} \quad (3)$$

3 非线性 PID 控制器

笔者提出非线性函数构造 PID 控制器方法的设计原理为：利用误差 e 构成的非线性函数与简单的 PID 控制器级联。在系统启动时，为加快系统的响应速度，比例系数取大，积分系数取零；在制动时，为防止超调，比例系数取小，微分系数取大；回复时，比例系数和积分系数取小，使得回复平稳；稳定时，比例微分取小，积分取大，减小稳态误差^[4-5]。

因此可以构造非线性 PID 控制器函数为：

$$\begin{cases} K_p(e(t)) = K_p(a_p + b_p(1 - \text{sech}(c_p e(t)))) \\ K_i(e(t)) = K_i(\text{sech}(a_i e(t))) \\ K_d(e(t)) = K_d e^{-a_d e(t)} \end{cases} \quad (4)$$

下面叙述函数与各参数之间的关系。

当 K_p 、 K_i 、 K_d 值给定时， a_p 可以改变 $K_p(e(t))$ 上下平移大小； b_p 可以改变函数的峰值； c_p 可改变函数的变化速率。当 $e(t)$ 为零时， $K_p(e(t))$ 取最小值为 $K_p a_p$ ； a_i 可以调整 $K_i(e(t))$ 的变化速率，当 $e(t)$ 取零时， $K_i(e(t))$ 取最大值； a_d 可以调整 $K_d(e(t))$ 的变化速率。此时输出控制量如下：

$$\begin{aligned} u(t) = & K_p(a_p + b_p(1 - \text{sech}(c_p e(t))))e(t) + \\ & K_i \text{sech}(a_i e(t)) \int_0^t e(t) dt + K_d e^{a_d e(t)} \frac{de(t)}{t} \end{aligned} \quad (5)$$

4 仿真分析

反铲铲斗电液比例位置开环控制系统广义被控对象的数学模型为式 (3)。根据系统的性能指标，取 PID 控制器参数为： $K_p=40$ ， $K_i=80$ ， $K_d=2$ 。

根据仿真情况整定非线性 PID 控制器参数：

$$a_p = 1, \quad b_p = 1, \quad c_p = 100; \quad a_i = 1; \quad a_d = 0.9.$$

其波形如图 3 所示。图 3(a)、(b)、(c) 分别表示 $K_p(e(t))$ 、 $K_i(e(t))$ 、 $K_d(e(t))$ 随参数误差变化曲线。

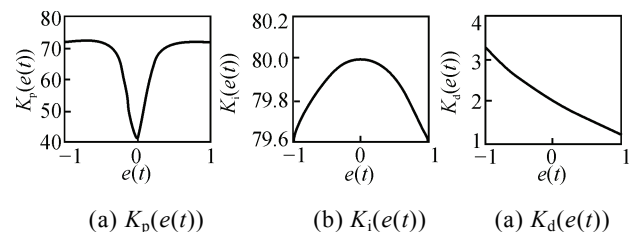


图 3 非线性 PID 控制器函数随误差变化曲线

系统输入单位阶跃信号，使用传统 PID 控制器与非线性 PID 控制器的系统响应结果如图 5 所示。