

基于BP改进PID算法的挖掘机闭环回路跟随误差分析

张钰婷

(西安交通工程学院,陕西省西安市,710300)

摘要 挖掘机被广泛应用于建筑施工等领域,其误差控制效率直接影响到施工效率。为了进一步提高挖掘机控制能力,设计了一种基于BP改进PID算法的挖掘机闭环回路跟随误差分析方法。利用Simulink平台开发对控制器进行验证。研究表明:油缸活塞伸展中能够实现的最高速度是0.33m/s;收缩中最高速度可达0.25m/s,小腔压力起到了补充油液的作用,防止产生冲击作用。最终稳定在80mm/min,压力波动幅度极小,推断通过BP算法优化后PID控制方法,对于处理不稳定压力和流量表现出了更优匹配能力。

关键词 推进系统;闭环回路;跟随误差;PID算法;BP神经网络

中图分类号:TP13 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)04-0039-02

挖掘机在当前建筑施工、矿山开采等领域获得了广泛应用,已经成为一类重要的工程设备,能够有效满足各类严苛作业环境的应用需求^[1]。采用PID控制策略对挖掘机推进参数精准调整,显著提升系统运行的同步控制能力,避免了推进过程中出现剧烈震动^[2]。

相关挖掘机运动误差优化方面的研究吸引了很多学者,取得了一定的研究成果。倪佳敏等^[3]提出通过神经网络建立油缸位移长度与标识的挖掘机工作装置虚拟位移传感器系统,通过遗传算法优化网络,预测油缸位移进而获得挖掘机工作装置的姿态。徐国胜等^[4]设计基于高增益观测器的滑模控制器,控制挖掘机铲斗轨迹,建立了掘机驱动空间数学模型,基于奇异摄动理论证明闭环控制系统的稳定性,节约整机控制成本。

本研究根据推进系统控制机制,建立了AMESim仿真模型进行系统动态分析,通过仿真实验确定了速度和压力的关键控制指标,并结合PID控制策略完成复合控制过程。

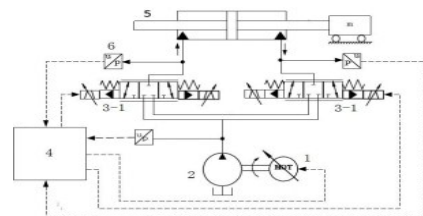
1 推进系统设计及跟随误差模型

作者简介:张钰婷(1991~),女,陕西西安人,硕士,讲师,研究方向:应用数学。

1.1 系统设计

为了确保盾构机能够实现精确推进的目标,同时加速挖掘进程并维持稳固的工作面结构,应确保液压系统中的油缸能够实现同步精准控制的效果^[5]。本研究引入了分组布局形式的油缸结构,在推进系统中设置闭式回路。系统调速的原理见图1。

从图1中可以看到,推进油缸的速度调整依靠伺服阀完成。推进油缸通过撑靴将压力作用于管片,确保形成均匀的推力。推进结束后,油缸通过换向阀回缩的方式转换为管片拼装。速度和压力的调控方法基本相似,都是利用位移传感器采集油缸位移数据,利用PID算法消除稳态误差。



1-伺服电机;2-定量泵;3-伺服阀;4-控制器;5-推进油缸

图1 节流调速回路原理图

1.2 跟随误差

根据误差原理可知,外部负载和输入信号依次与负载误差和跟踪误差相关联。将推进油缸的内部压力视为恒定状态,不考虑油液泄漏带来的影响,假定油液处于层流状态,从而建立以下函数算式。建立以下压力平衡表达式^[6]:

$$A_1 p_1 - A_2 p_2 = m_s \frac{d^2 x_p}{dt^2} + B_p \frac{dx_p}{dt} + K_r x_p + F_L \quad (1)$$

式中, p_1 、 p_2 分别是无杆腔和有杆腔的压力; A_1 、 A_2 表示油无杆腔和有杆腔的面积; B_p 是黏性比; m_s 是等效总质量; F_L 是总负载; K_r 是弹簧刚度; x_p 是活塞位移; t 是运行时间。

建立如下的流量函数:

$$Q_L = A_1 \frac{dx_p}{dt} + C_{ip} p_L + \frac{V_1}{\beta} \frac{dp_L}{dt} \quad (2)$$

式中, p_L 、 V_1 依次对应无杆腔流量与有杆腔的体积; C_{ip} 是油缸的泄漏因子; β 是油液弹性模量。

采用拉氏转换方式处理式(1)~(2)获得下述:

$$\begin{aligned} A_1 P_1(x) - A_2 P_2(x) &= (m_s s^2 + B_p s + K_r) X_p(x) + F_L(x) \\ Q_L(x) &= A_1 G P_1(x) + \left(C_{ip} + \frac{V_1 s}{\beta} \right) P_L(x) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, Q_L 、 P_L 依次对应无杆腔流量与油缸压力; X_p 是无杆腔位移; S 是固有频率; P_1 、 P_2 对应无杆、有杆腔的压力; G 是高压腔液固有频率; β 是高压腔液压油弹性模量。

1.3 控制策略

本研究选择液压和电子双重控制系统来实现能量的回收过程,通过调整液压电机的排量来调节动臂运动速率,可以极大简化编程复杂性,并实现了系统的远程操作功能。

本实验建立了详细控制方案:当动臂在重力和液压油的压力作用进入下落阶段时,蓄能器发生了压力的逐渐上升,更多的能量实现了储存,同时动臂下落速度逐渐减缓,从而满足精确控制的需求。

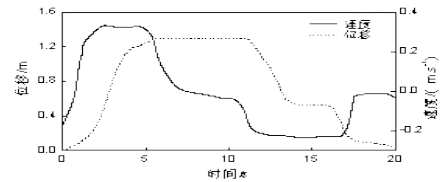
在该架构中,PID控制模块是利用C++语言编程实现的,该模块以油缸的压力和流量组成输入变量,输出端则是由在线训练产生的控制信号 $u(k)$ 及相关参数组成。

2 动态性能分析

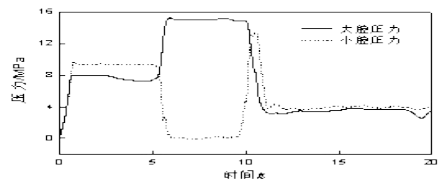
利用模拟实验获得图2的动臂节能系统曲线。根据图2结果分析可以得到以下结果:①当油缸活塞发生伸展的过程中,能够实现的最高速度是0.33m/s,而在收缩过程中,最高速度可达0.25m/s;②在活塞的伸展过程中,油缸的大腔和小腔压力依次达到7.6MPa和9.1MPa,当大腔压力增加到15MPa时,多余油液会经载阀卸除;③当活塞处于收缩阶段,两腔均维持低压,此时动臂与负载的自重驱动其下降,大小腔协同作用:小腔负责补油,大腔提供背

压,从而有效抑制下降过程中的冲击。

通过运用PID控制策略建立AMESim仿真模型,采用PID控制策略,油缸初始速度设定在50mm/min,经过一段时间的波动后,最终稳定在80mm/min,压力波动幅度极小。因此可以推断,采用BP算法优化的PID控制方法,在处理不稳定压力和流量时具有更优的控制性能。



(a) 速度和位移曲线



(b) 压力曲线

图2 动态性能曲线

3 结语

本文开展基于BP改进PID算法的挖掘机闭环回路跟随误差分析,取得如下有益结果。油缸活塞伸展过程中,能够实现的最高速度是0.33m/s;收缩过程中最高速度可达0.25m/s,小腔压力起到了补充油液的作用,大腔产生背压。经过一段时间的波动后,稳定在80mm/min,压力波动幅度极小,表现出了更优的压力和流量匹配能力。

参考文献

- [1] 杨超,赵佳伟,马伟,等.挖掘机液压系统非线性摩擦的辨识与补偿[J].机床与液压,2023,51(20):163-170.
- [2] 宋昊李,李桂琴,熊焯,等.基于Fuzzy-PID的负载敏感挖掘机位姿控制策略[J].液压与气动,2023,47(08):50-57.
- [3] 倪佳敏,马伟,童欣,等.基于视觉的挖掘机位姿测量虚拟传感器研究[J].电子测量技术,2022,45(09):44-49.
- [4] 徐国胜,於祖庆,陆念力,等.基于高增益观测器的挖掘机工作装置滑模控制[J].哈尔滨工程大学学报,2021,42(06):885-892.
- [5] 张维刚,杨光,周维,等.智能挖掘机直线挖掘作业的运动规划与控制研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2023,50(06):70-79.
- [6] 胡俊宇,韩旭,陶友瑞,等.一种考虑跟随误差的S形轨迹残余振动抑制可靠性分析方法[J].机械工程学报,2024,60(16):390-399.