

文章编号:1004-1478(2011)05-0027-04

# 沥青砂浆车液压系统的辨识与PID参数整定

蔡钟山, 张认成, 杨建红

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:**针对沥青砂浆车液压系统难以精确控制的问题,采用实验与理论相结合的方法,对液压系统进行辨识:分别采用绝对误差积分(*IAE*)、平方误差积分(*ISE*)、时间与误差平方乘积积分(*ITSE*)3种适应度函数,利用粒子群优化算法(*PSO*)对辨识得到的系统模型进行PID参数整定.对比研究结果表明:辨识得到的系统与实际系统相似度达到96%,基于*ITSE*性能指标的*PSO*整定得到的PID参数用于系统控制,响应速度更快、稳定性更好、准确性更高.

**关键词:**系统辨识;沥青砂浆车液压系统;PID控制;粒子群算法;适应度函数

中图分类号:TP29

文献标志码:A

## Identification and PID parameters setting of the hydraulic system for asphalt mortar car

CAI Zhong-shan, ZHANG Ren-cheng, YANG Jian-hong

(College of Mech. Eng. and Auto., Huaqiao Univ., Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The hydraulic system for asphalt mortar car is difficult to control precisely. Empirical method and hydraulic system theoretical knowledge are combined to be adopted to identify the hydraulic system. Based on the identified model, PID parameters of the control system are set separately by using *PSO* algorithm. Some comparative research are studied by using three different fitness functions, such as *IAE*, *ISE* and *ITSE*. The results showed that the similarity between identified hydraulic system and the practical system is up to 96%; By comparison, the system using the PID parameters which were obtained by *PSO* based on *ITSE* has a faster response, better stability and higher accuracy.

**Key words:** system identification; hydraulic system for asphalt mortar car; PID control; particle swarm optimization algorithm; fitness function

## 0 引言

随着科学技术的发展,各门学科的研究方法进一步趋向量化,在生产实践和科学实验中,对所

研究的复杂对象,人们通常要求通过观测和计算来定量判明其内在的运行规律.为此,必须为所研究对象建立数学模型,以有助于进行分析、设计、预测以及控制决策<sup>[1]</sup>.基于这种需求,人们提出了系统

收稿日期:2011-06-09

基金项目:福建省科技重大专项项目(2008HZ0002-1)

作者简介:蔡钟山(1987—),男,福建省漳州市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为液压控制和检测技术.

通信作者:张认成(1961—),男,陕西省扶风县人,华侨大学教授,主要研究方向为现代检测技术.

辨识问题. 系统辨识, 就是按照一个准则, 在一组模型类中选择一个与数据拟合最好的模型<sup>[2]</sup>. 液压系统的建模方法有理论计算和实验建模 2 种, 由于理论计算不仅繁琐, 而且计算出来的系统参数与实际系统相差甚远, 因此本文采用基于实验数据的液压系统辨识方法. 利用系统辨识工具箱可以很好地解决液压系统辨识这一难点.

在沥青砂浆车调平系统中, 液压系统是重要组成部分. 系统的控制一般采用简单的调平方式, 如两点调平、三点调平<sup>[3]</sup>, 这种调平方式虽然简单, 但是系统控制不具有智能性. PID 控制具有原理简单、算法可靠、使用方便等特点, 在工业中得到广泛应用. PID 参数整定的方法有很多, 如粒子群优化算法(PSO)、遗传算法等. PSO 同遗传算法类似, 也是一种基于迭代的优化算法, 系统初始化为一组随机解, 通过迭代搜寻最优值. PSO 不像遗传算法使用了交叉和变异, 而是粒子在解空间追随最优的粒子进行搜索, 因而具有容易实现且没有许多参数需要调整等优势. 本文选择 PSO 作为参数整定方法, 先采用传统的工程整定方法 Z-N 法对 PID 参数进行初始化, 作为 PSO 优化算法的初值, 最终实现对 PID 参数的整定以及调平液压系统的优化控制.

## 1 液压调平系统的数学模型及其系统辨识

### 1.1 数学模型

砂浆车调平系统<sup>[3]</sup>的 PID 控制框图如图 1 所示, 其中, 沥青砂浆车的液压系统可以简化为一个电液阀控系统, 由电液比例阀和液压缸组成(见图 1 中虚线方框).

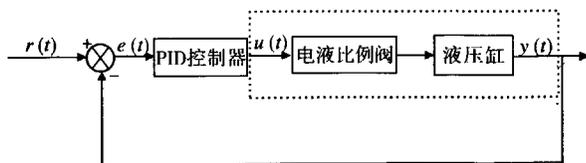


图 1 砂浆车调平系统的 PID 控制系统框图

根据电液比例阀控缸的理论<sup>[4]</sup>, 可以假定液压系统模型为三阶系统:

$$G_o(s) = \frac{K \times e^{-T_d s}}{(1 + 2\xi T_w s + T_w^2 s^2)(1 + T_p s)} \quad (1)$$

其中,  $K$  为放大系数;  $T_d$  为延时时间;  $\xi$  为阻尼比;  $T_w = 1/\omega_n$ , 等于自然频率的倒数, 称为时间常数;  $T_p$  为惯性系数. 假设 PID 控制器的 3 个参数分别为

$K_p, K_i, K_d$ , 根据 PID 参数的定义, 可以得到 PID 控制器的传递函数为

$$G_c(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d \times s$$

根据图 1 可以得到系统闭环传递函数为

$$G(s) = \frac{G_c(s) \times G_o(s)}{1 + G_c(s) \times G_o(s)}$$

### 1.2 系统辨识

**1.2.1 实验方案** 笔者根据砂浆车液压系统设计出一套实验方案, 对输入电压信号和输出位移信号进行采集, 其具体方案如下: 系统的控制器采用 PLC, 通过 PLC 的 DA 模块给出电压值  $U$ , 控制电磁比例阀度为 65%, 并驱动液压缸上升 2 s; 然后关闭电磁比例阀, 液压缸由于自身的爬行惯性在比例阀关闭之后还有一段滑行位移, 因此采集时间应大于 2 s. 最终采集到的输入电压和输出位移如图 2 所示, 采样间隔为 0.1 s.

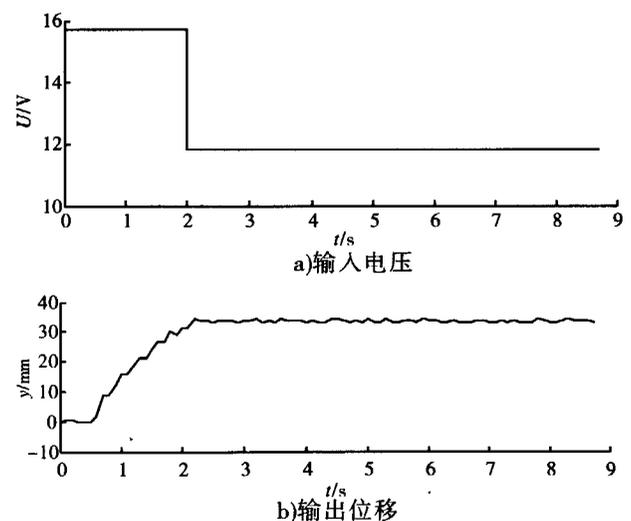


图 2 采集到的输入和输出信号

**1.2.2 系统辨识结果** 利用采集到的实验数据进行相关预处理(如滤波等)之后, 进行模型估计, 根据式①选择过程模型里的三阶模型, 最终辨识得到的参数为  $K = 2.8236$ ,  $T_d = 0.33032$ ,  $\xi = 0.06$ ,  $T_w = 0.04409$ ,  $T_p = 1.2763$ . 辨识出来模型的输出位移与实际采集到的位移进行对比, 结果如图 3 所示. 由图 3 可知, 辨识出来的模型相似度达到 96%. 将各参数代入式①可以得到液压系统的数学模型

$$G_o(s) = \frac{2.8236 \times e^{-0.33032s}}{(1 + 0.00548s + 0.001944s^2)(1 + 1.2763s)} \quad (2)$$

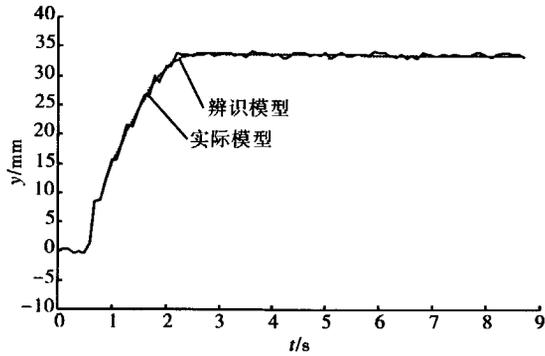


图3 辨识出来的模型与实际模型之对比

## 2 基于 PSO 的 PID 参数整定

### 2.1 粒子群优化算法

粒子群优化算法是一种进化计算技术,源于对鸟群捕食行为的研究,其数学描述如下:在  $d$  维搜索空间中有  $s$  个微粒,设  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$  为粒子  $i$  的当前位置,  $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$  为粒子  $i$  的当前速度,  $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$  为粒子  $i$  的局部最优值,  $p_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gd})$  为粒子群体的全局最优值,则粒子的位置和速度从  $h$  代更新到  $h+1$  代的公式为<sup>[5]</sup>

$$\begin{cases} v_{id}^{h+1} = w \cdot v_{id}^h + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id} - x_{id}^h) + \\ c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{gd} - x_{id}^h) \\ x_{id}^{h+1} = x_{id}^h + v_{id}^{h+1} \end{cases}$$

其中,  $d$  为维数,即为未知参数的个数;  $w$  为惯性权重;  $c_1, c_2$  为加速常数;  $r_1, r_2$  为相互独立在  $[0, 1]$  里均匀分布的 2 个随机数. 程序流程图如图 4 所示.

### 2.2 适应度函数选择

由图 1 可知,粒子群算法里适应度函数 fitness 选择过程控制的误差性能指标  $e(t) = r(t) - y(t)$ . 误差性能指标主要有 3 种,即绝对误差积分 (IAE)、平方误差积分 (ISE)、时间与误差平方乘积积分 (ITSE). 3 种性能指标的函数表达式<sup>[6]</sup>分别为

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| \cdot dt$$

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) \cdot dt$$

$$ITSE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) \cdot dt$$

### 2.3 PID 参数整定

首先采用工程整定方法 Z-N 对控制系统的 PID 参数进行初步整定<sup>[7]</sup>, 整定结果为  $K_p = 0.3981$ ,  $K_i = 0.158$ ,  $K_d = 0.04$ . 将这 3 个参数

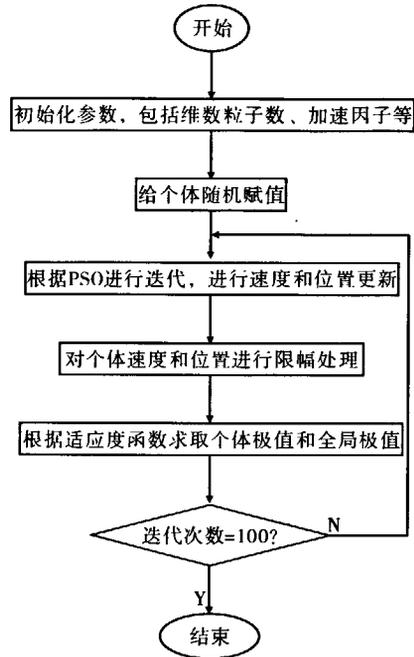


图4 粒子群优化算法程序框图

作为 PSO 参数整定的初始值进一步整定,以得到更优的参数.

根据辨识得到的式②,可以结合 PSO 根据不同的误差性能指标进行参数整定. PSO 参数初始化步骤如下:

1) 适应度函数 fitness. 适应度函数是由目标函数决定的, PID 参数整定的目的是使系统输出值尽可能靠近输入值,即误差值尽可能趋近于 0. 因此, 本文选择 3 种不同的误差性能指标函数分别作为 PSO 的适应度函数进行参数整定, 并进行比较.

2) 粒子维数  $d$ . 由于 PID 需要整定的参数有  $K_p, K_i, K_d$ , 因此设定  $d = 3$ .

3) 粒子数  $s$ . 粒子数与搜索空间的复杂程度有关, 根据本文的搜索空间, 选择  $s = 2$ .

4) 迭代次数  $n$ . 根据实验经验选择  $n = 100$ .

5) 惯性权重  $w$ .  $w$  通过控制过去速度对现在速度作用的大小, 影响粒子全局和局部搜索能力, 本文选择  $w = 0.9$ .

6) 加速因子  $c_1, c_2$ .  $c_1$  和  $c_2$  分别为粒子自身经验和粒子群经验在 PSO 算法中占的比重, 当  $c_1 + c_2 \leq 4$  时可取得较好的效果, 依据经验取  $c_1 = c_2 = 2$ .

## 3 仿真结果与分析

设置初始化参数, 根据图 4 进行程序编写, 将适应度函数写成一个子函数被主函数调用并进行迭

代,根据3种适应度函数得到最终的辨识结果(如表1所示),其中 $K_p, K_i, K_d$ 分别为PID比例、积分和微分参数, $T_r$ 为上升时间, $J$ 为系统绝对误差积分值。

表1 3种不同适应度函数的参数辨识结果

适应度函数	ISE	ITSE	IAE
$K_p$	0.688 3	0.663 3	0.197 6
$K_i$	0.146 7	0.755 1	0.050 4
$K_d$	0.011 1	0.003 2	0.007 3
$T_r/s$	7.4	1.1	19.5
$J$	52.24	7.66	113.90

采用工程整定方法Z-N整定的PID参数作为PSO初始参数设定值,辨识的参数最终的阶跃响应曲线见图5。将PSO辨识出来的参数 $K_p, K_i, K_d$ 结合1.1所描述的PID控制器的传递函数和闭环系统传递函数得到阶跃响应曲线(见图6)。从表1和图5,图6可以得出以下结论。

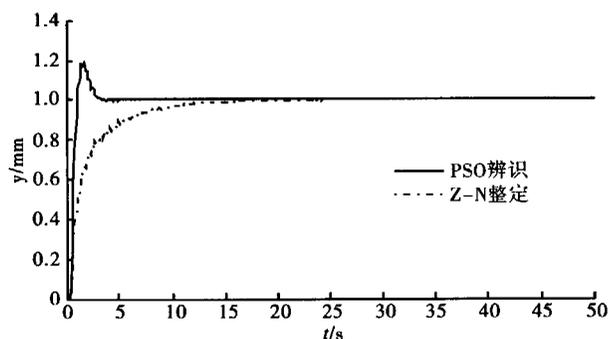


图5 采用PSO和Z-N参数辨识的阶跃响应曲线

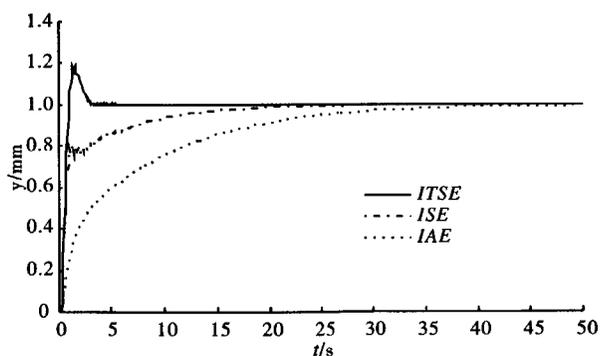


图6 采用3种不同适应度函数的阶跃响应曲线

1)从图5可以看出,PSO算法辨识出来的PID参数得到的控制系统比Z-N方法的控制系统响应速度快。2)由于工程整定法Z-N法比较接近实际的最优值,因此,基于工程整定法的PSO具有较快

的收敛性,为寻找全局最优提供了可能性。3)从图6可以看出,采用不同的适应度函数得到的控制系统不一样,ITSE得到的阶跃响应的上升时间分别比IAE快了18.4s,比ISE快了6.3s,响应速度最快,体现了控制系统的快速性;最终曲线快速、准确地收敛于输入值1,具有很强的稳定性;系统输出的稳态值最终达到期望值,说明系统具有很好的准确性。4)从表1和图6也可以看出,根据不同的误差性能指标进行PID控制器参数整定,所得到的系统闭环控制效果不同,ITSE辨识得到的阶跃响应不仅上升速度最快,而且误差积分值最小,说明ITSE性能指标在缩短调节时间的同时还可控制大偏差。

## 4 结论

本文根据液压理论知识选择模型类型,通过实验采集数据,最终辨识出来模型与实际模型的相似度达到96%;采用工程整定方法对实际系统进行初步的PID参数整定,将整定出来的参数作为PSO算法的初始参数进行参数寻优,最终达到很好的效果。仿真实验证明:采用ITSE误差性能指标作为适应度函数的PSO算法,系统控制效果最好,不仅响应速度快,且与设定值误差小,满足了稳、准、快的控制要求。

## 参考文献:

- [1] 杨承志. 系统辨识与自适应控制[M]. 重庆:重庆大学出版社,2003.
- [2] 方崇智,萧得云. 过程辨识[M]. 北京:清华大学出版社,1988:12-131.
- [3] 蔡钟山,张认成,杨建红. 嵌入式微处理器的沥青砂浆车液压调平系统的设计[J]. 华侨大学学报,2011,32(3):266.
- [4] 陈伦军,罗艳蕾. 一种优化整定方法在电液阀控系统仿真中的仿真[J]. 中国工程机械学报,2005,3(4):392.
- [5] 徐小平,钱富,刘丁,等. 基于PSO算法的系统辨识方法[J]. 系统仿真学报,2008,20(13):3525.
- [6] 欣内尔斯S.M. 现代控制系统理论及应用[M]. 李育才,译. 北京:机械工业出版社,1979:121-122.
- [7] 原思聪,林艳,裴喜永,等. PID控制器在混凝土疲劳试验机电液伺服系统中的应用研究[J]. 机械设计与制造,2010(7):76.

# 沥青砂浆车液压系统的辨识与PID参数整定

作者: [蔡钟山](#), [张认成](#), [杨建红](#), [CAI Zhong-shan](#), [ZHANG Ren-cheng](#), [YANG Jian-hong](#)  
作者单位: [华侨大学机电及自动化学院, 福建厦门, 361021](#)  
刊名: [郑州轻工业学院学报 \(自然科学版\)](#) ISTIC  
英文刊名: [Journal of Zhengzhou University of Light Industry\(Natural Science Edition\)](#)  
年, 卷(期): 2011, 26(5)  
被引用次数: 3次

## 参考文献(7条)

1. [杨承志](#) [系统辨识与自适应控制](#) 2003
2. [方崇智](#); [萧得云](#) [过程辨识](#) 1988
3. [蔡钟山](#), [张认成](#), [杨建红](#) [嵌入式微处理器的沥青砂浆车液压调平系统的设计](#)[期刊论文]-[华侨大学学报 \(自然科学版\)](#) 2011(3)
4. [陈伦军](#), [罗艳蕾](#) [一种优化PID整定方法在电液阀控系统仿真](#)[期刊论文]-[中国工程机械学报](#) 2005(4)
5. [徐小平](#), [QIAN Fu-cai](#), [刘丁](#), [WANG Feng](#), [王峰](#) [基于PSO算法的系统辨识方法](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2008(13)
6. [欣内尔斯SM](#); [李育才](#) [现代控制系统理论及应用](#) 1979
7. [原思聪](#), [林艳](#), [裴喜永](#), [张晓伟](#) [PID控制器在混凝土疲劳试验机电液伺服系统中的应用研究](#)[期刊论文]-[机械设计与制造](#) 2010(7)

## 引证文献(2条)

1. [孙君曼](#), [郭庭海](#), [周琼](#), [牛云龙](#) [水泥养护室温度参数自整定模糊PID控制算法研究](#)[期刊论文]-[郑州轻工业学院学报 \(自然科学版\)](#) 2014(06)
2. [孙玉胜](#), [薛贺杰](#) [一种改进型无刷直流电机控制微粒群优化算法](#)[期刊论文]-[郑州轻工业学院学报 \(自然科学版\)](#) 2014(03)

引用本文格式: [蔡钟山](#), [张认成](#), [杨建红](#). [CAI Zhong-shan](#). [ZHANG Ren-cheng](#). [YANG Jian-hong](#) [沥青砂浆车液压系统的辨识与PID参数整定](#)[期刊论文]-[郑州轻工业学院学报 \(自然科学版\)](#) 2011(5)