

# 基于模糊自适应 PID 的钢管定长切割控制系统\*

盛 强

(湖州职业技术学院 机电工程分院, 浙江 湖州 313000)

**摘要:**针对钢管定尺飞锯传统定长切割控制策略存在的问题,提出了采用模糊自适应 PID 的控制策略。控制器输入取钢管的定长切割偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$ , 输出取 PID 控制器 3 个参数的修正量, 从而实现了 PID 参数的在线自整定。采用 Matlab 语言, 进行了常规 PID 控制与模糊自适应 PID 控制动态性能的仿真比较。研究表明, 采用模糊自适应 PID 控制可明显提高定尺飞锯定长切割控制系统的动态性能。

**关键词:**定尺飞锯; 定长切割; 模糊自适应 PID 控制; Matlab

中图分类号: TH39; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)11-1354-04

## Steel pipe's fixed-length cutting control system based on fuzzy self-adaptive PID

SHENG Qiang

(Faculty of Mechanism and Electronics, Huzhou Vocational & Technical College, Huzhou 313000, China)

**Abstract:** Aiming at the weak points of traditional steel pipe's fixed-length cutting control method on flying-saw machine, a control strategy based on the fuzzy self-adaptive PID method was proposed. The inputs required by the control model are fixed-length cutting error and the error change rate, and the model gives the correct additional setpoint for the three parameters of PID control individually. Thus the on-line automatic adjustment of the PID parameters was achieved. The fuzzy self-adaptive PID control was compared with traditional PID by simulation through Matlab. The results indicate that the steel pipe's fixed-length cutting dynamic control performs much better by using the fuzzy self-adaptive PID control strategy.

**Key words:** flying-saw machine; fixed-length cutting; fuzzy self-adaptive PID control; Matlab

## 0 引 言

定尺飞锯是金属管材自动焊接生产线上进行在线计长定尺并切割的关键控制设备,能在钢管高速运动状态下实现高精度地自动跟踪切割<sup>[1]</sup>。在钢管切割过程中,特别是在正向加速和反向返回原位阶段,定尺飞锯机速度与钢管速度相差较大;且在钢管焊接过程中,由于焊接机组焊接条件的变化,与可能导致定长切割长度偏离设定值较大。在此情况下,采用常规的 PID 控制调节时间长,超调量大,直接影响到钢管定长切割的精度和切口的平整度。

为了提高钢管定长切割控制系统的动态性能,并且满足定长切割的精度控制要求,本研究提出在定尺飞锯机中采用模糊自适应 PID 的控制策略<sup>[2]</sup>。

## 1 定长切割控制原理

定长切割控制系统如图 1 所示,主要由控制器、电机驱动器、编码器(PG)、传感器和电机等构成。图中:编码器 PG1 通过测速辊与钢管平稳无打滑地接触,将钢管的移动以脉冲的形式送给控制器,经过运算得出钢管的移动速度和即时长度;飞锯车由电机驱动器驱动,其速度由安装在飞锯车驱动电机轴上的编

收稿日期:2011-05-05

**基金项目:**浙江省高校优秀青年教师计划资助项目(2010);湖州职业技术学院校级规划课题资助项目(2011JS03);湖州职业技术学院第二轮青年教师队伍建设专项培养计划资助项目(2010)

**作者简介:**盛 强(1981-),男,浙江金华人,讲师,主要从事计算机控制技术、模糊控制、预测控制方面的研究. E-mail: shengqiang@hzvtc.net

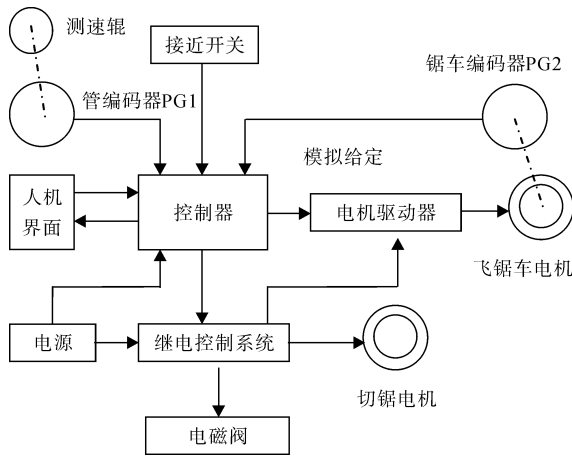


图 1 定长切割控制系统框图

码器 PG2 测得,并可测得小车的前进与后退行程。

飞锯定长切割控制原理如下:根据定尺飞锯的运动特点,在一个钢管锯切过程中,飞锯车都要经过启动、加速追踪、同步运行、锯切钢管、正向减速、反向加速、反向减速、制动返回原位、等待下一次锯切过程等动作,具体如图 2 所示。

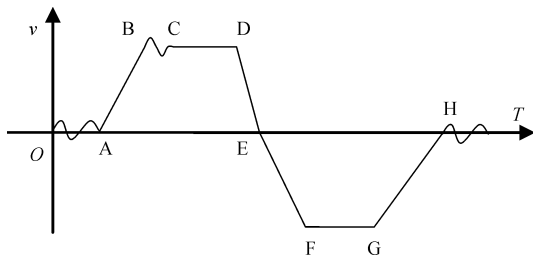


图 2 飞锯车速度曲线图

为了实现在一个锯切过程中完成钢管锯切且准确地返回原位,飞锯车的启动加速与减速返回停车就显得非常关键了。AB 段为飞锯车加速阶段,飞锯车启动并开始加速追踪钢管速度,为了提高其动态响应性能,当速度偏差越大时,飞锯车加速度应越大,后随着偏差的减小而逐渐减小其加速度,当达到定尺长度时,飞锯车速度刚好达到钢管速度,缩短 BC 段的系统超调时间;GH 段为飞锯车减速返回原位阶段,为了减小对后续锯切工作的影响,须对其减速停车进行控制。由于飞锯车的惯性作用,在返回原位时不能立即停止而产生定位误差,减速阶段加速度随着飞锯车的速度减小而逐渐变小,当速度为零时正好停在原位。

## 2 影响定长切割精度的因素

为了在钢管焊接过程中实现高精度地动态切割,必须考虑以下 3 个因素<sup>[3]</sup>:

(1) 返回原位的定位精度。在钢管速度较高的加工工况下,因 PID 调节时间不够,导致系统未能及时

稳定(仍处于振荡中),再加上由于飞锯车惯性作用,使飞锯车返回原位时,不能准确地返回原位。为了减少系统累积偏差,飞锯车在执行完切割任务后应以较小的加速度且不产生超调,精确地返回原位。

(2) 速度跟踪精度。在钢管切割过程中,飞锯车速度须与钢管速度保持一致,才能实现钢管切口的平直,而现有控制系统是根据一定的加工速度来确定恒定的 PID 控制参数,必然难以适应“因加工速度变化幅度较大而需相应改变控制参数”的要求,造成系统速度跟踪不准确,从而使钢管切口质量不好、定长切割精度不高。

(3) 定长切割精度。定尺飞锯控制系统往往采用固定加速度的方式控制其运行,再通过计算来确定定尺飞锯的延时起动时间的控制方式对钢管切割长度进行控制,无法克服因落锯点跟踪速度振荡所造成的定长切割偏差。

## 3 模糊自适应 PID 控制器设计

最常用的模糊控制器是二输入-单输出结构<sup>[4]</sup>(DISO),输入为系统偏差  $e$  和系统偏差变化率  $ec$ ,输出采用 PID 控制器 3 个参数的修正量,即  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ ,而通过前面分析可知,本研究须对飞锯车的速度跟踪精度和钢管的定长切割精度这两个方面进行模糊自适应 PID 控制,而势必产生飞锯车与钢管之间的速度偏差、速度偏差变化率、定长偏差和定长偏差变化率 4 个输入量和 2 个输出量,由此加大了模糊控制器的设计难度,为了降低模糊控制规则库的复杂程度,须对模糊控制器的输入量进行精减<sup>[5]</sup>。

下面以定长切割精度不大于国际上通用的 BS1387-1985 标准(0~+6 mm)为例进行说明。

本研究选择脉冲当量为 0.1 mm,理论上可以满足 0~+6 mm 的定长切割精度,所以当脉冲当量一定时,钢管和飞锯车所走的位移为电机的功率脉冲数  $n$  与脉冲当量  $\delta$  的乘积。

设飞锯车从开始启动到完成切割的过程中,钢管的行走距离为:

$$L_g = \text{测速辊脉冲数} \times \text{倍频数} \times \alpha_1 \times \delta \quad (1)$$

飞锯车的行走距离为:

$$L_c = \text{电机脉冲数} \times \text{倍频数} \times \alpha_2 \times \delta \quad (2)$$

式中: $\alpha_1, \alpha_2$ —测速辊编码器和飞锯车电机的脉冲系数。

则在飞锯车运动过程中,钢管比飞锯车多运动的距离为  $S=L_g-L_c$ ,  $L_g$  的距离受到飞锯床身长度的制约,

且应大于  $2L_c$ 。

本研究设钢管的切割设定长度为  $L_0$ ，在钢管经移过锯口的距离为  $E$  时飞锯车启动，则理论上钢管比飞锯车多走  $L_0-E$ ，而  $(L_0-E)-(L_g-L_c)$  就是控制系统的定长偏差值，所以定长精度可以转化为  $S=L_g-L_c$  逼近  $L_0-E$  的精度。

又因为  $v_g=L_g/\Delta t$ ， $v_c=L_c/\Delta t$ ，则速度偏差和速度偏差变化率为：

$$e'=v_g-v_c=(L_g-L_c)/\Delta t \quad (3)$$

$$ec'=(v_g-v_c)/\Delta t=(L_g-L_c)/\Delta t^2 \quad (4)$$

式中： $\Delta t$ —控制器的采样时间， $(L_g-L_c)$ —定长偏差  $e$ ， $(L_g-L_c)/\Delta t$ —定长偏差变化率  $ec$ 。

本研究只要在控制器设定钢管定长切割长度以采样时间为基准，就可以把定长速度偏差和速度偏差变化率转化定长偏差和定长偏差变化率，通过变换可以把模糊控制器的 4 个输入量减少到 2 个，以定长偏差  $e$  和定长偏差变化率  $ec$  作为输入，PID 3 个参数的修正量作为输出，再利用模糊控制规则可满足同时刻的  $e$  和  $ec$  对 PID 参数自整定的要求<sup>[6]</sup>。其控制器结构如图 3 所示。

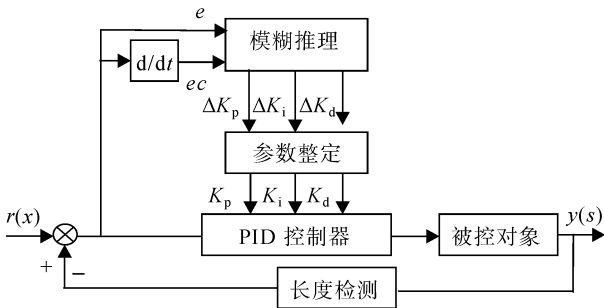


图 3 模糊 PID 控制器结构

本研究根据控制要求和经验，将定尺飞锯的定长偏差  $e$  和定长偏差变化率  $ec$  的基本论域确定为  $\{-30, 30\}$ ， $\Delta K_p$  的论域范围为  $\{-6, 6\}$ ， $\Delta K_i$  的论域范围为  $\{-0.6, 0.6\}$ ， $\Delta K_d$  的论域范围为  $\{-3, 3\}$ ，其模糊子集均为  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ ，设其均服从正态分布；再通过以下 3 个公式完成 PID 3 个参数的整定。

$$K_p = k_{p0} + \Delta K_p \quad (5)$$

$$K_i = k_{i0} + \Delta K_i \quad (6)$$

$$K_d = k_{d0} + \Delta K_d \quad (7)$$

式中： $k_{p0}$ 、 $k_{i0}$ 、 $k_{d0}$ —PID 控制器的初始设定值。

本研究通过对操作人员技术知识和实践经验进行总结，在模拟控制基础上，确定了  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  的模糊控制规则，如表 1~3 所示。

表 1  $\Delta K_p$  的模糊规则表

$e$	$ec$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2  $\Delta K_i$  的模糊规则表

$e$	$ec$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 3  $\Delta K_d$  的模糊规则表

$e$	$ec$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

## 4 仿真实验与结果分析

本研究利用 Matlab 软件，以某不锈钢管焊接企业实际的定尺飞锯控制系统为对象进行了模糊自适应 PID 控制系统的仿真，采用阶跃信号对定尺飞锯控制系统进行了常规 PID 控制和模糊 PID 控制的仿真实验并进行比较，如图 4、图 5 所示。

由定尺飞锯定长切割控制原理可知，在钢管切割过程中，当钢管头部经过零点位置达到长度  $E$  时，飞锯车启动开始追踪钢管，并实现定长切割，所以在飞锯车等待段 OA 段（如图 2 所示），系统存在纯滞后环节。为了研究方便，可认为定尺飞锯控制系统为一阶带有延迟环节<sup>[7-10]</sup>的模型。本研究结合定尺飞锯控制系统的实际运行参数，推导出其传递函数为：

$$G(s) = \frac{1}{1+1.7s} e^{-0.9s} \quad (8)$$

PID 参数初始值为: $K_{p0}=12.0$ ,  $K_{i0}=0.15$ ,  $K_{d0}=1.0$ , 采样时间为 10 ms。

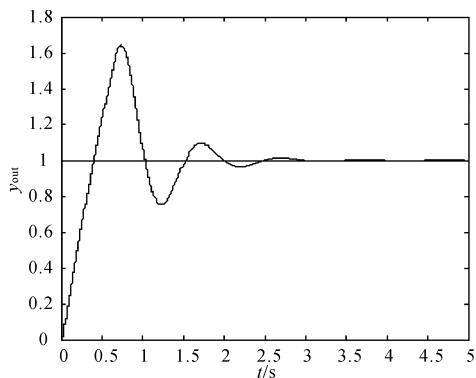


图 4 定尺飞锯常规 PID 控制仿真图

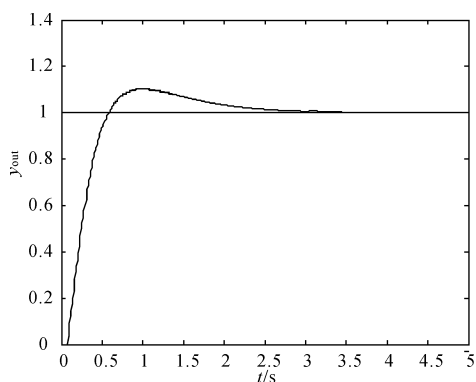


图 5 定尺飞锯模糊 PID 控制仿真图

对比图 4 和图 5 可知,模糊 PID 控制在不牺牲上升时间的前提下,调整时间比常规 PID 控制要好,而且超调量小,所以模糊 PID 控制比常规 PID 控制拥有更好的动态响应性能。

## 5 结束语

本研究通过将模糊控制和常规 PID 控制相结合,

设计了一个基于模糊自适应 PID 控制的定尺飞锯控制系统。仿真实验表明,该技术可大大提高系统的鲁棒性,改善动态特性,而且具有更大的灵活性、适应性,以及更强的实时性与控制精度,可在定尺飞锯控制系统等领域推广应用。

## 参考文献(References):

- [1] WOO Z W, CHUNG H Y, LIN J J. A PID type fuzzy controller with self-tuning scaling factors [J]. *Fuzzy Sets and System*, 2000(115):321-326.
- [2] 童自惠,甘永兴,沈启飙. 半闭环、全闭环兼容的位置控制数控飞锯系统[J]. *电气传动*, 2003, 33(5):34-37.
- [3] 宁辰校,李 兰,张戎社. 基于 PLC 的定长切割飞锯智能控制系统研究[J]. *河北科技大学学报*, 2009, 30(3):219-222.
- [4] 李士勇. 模糊控制. 神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1996.
- [5] KUKOLJ D D, KUZMANOVIC S B, LEVI E. Design of a PID-like compound fuzzy logic controller[J]. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 2001, 14(6):785-803.
- [6] REZNIK L, GHANAYEM O, BOURMISTROV A. PID plus fuzzy controller structures as a design base for industrial application[J]. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 2000(13):419-430.
- [7] 李先银,胡乾斌,李光斌. 最优 PID 控制算法在飞锯位置伺服系统中的应用[J]. *电气传动*, 2001, 31(1):41-43.
- [8] 赵一鹏,姜 伟. 基于模糊 PID 电液伺服控制系统的设计和仿真[J]. *轻工机械*, 2010, 28(3):69-72.
- [9] 杨红波,徐振越,高德山. 全闭环飞锯运动控制的实现[J]. *电气自动化*, 2009, 31(6):19-20.
- [10] 李雪莲. 基于 Matlab 的 PID 参数调整方法的仿真研究[J]. *机电技术*, 2011(1):4-6.

[编辑:张 翔]

(上接第 1331 页)

- [6] 何宗键. Windows CE 嵌入式系统[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2006.
- [7] 张冬泉,谭南林,苏树强. Windows CE 实用开发技术[M]. 北京:电子工业出版社. 2009.
- [8] 周建设. Windows CE 设备驱动及 BSP 开发指南 [M]. 北京:中国电力出版社, 2009.
- [9] Microsoft. Platform builder for Microsoft Windows CE 5.0 help-device Manager[EB/OL]. [2006-12-01]. ms-help://MS.WindowsCE.500/wceddk5/html/wce50conDeviceManager.htm.
- [10] 戴钦来,马均华. 基于 ARM 和 DSP 的多轴伺服系统以太网通信[J]. *轻工机械*, 2011, 29(1):62-66.
- [11] [作者不详]. ARM-WINCE.WinCE BSP 的 BIB 文件介绍 [EB/OL]. [2008-09-16]http://blog.csdn.net/nanjianhui/archive/2008/09/16/2931991.aspx.
- [12] [作者不详]. RS485 总线[EB/OL]. [2010-05-24]. http://www.bbfar.com.cn/article/2c/1053.html.

[编辑:李 辉]