

自动控制

DOI: 10.3969/j. issn. 1002-1639.2012.03.006

基于大林算法的燃气热水器温度 Fuzzy-PID 控制方法

杜福银

(西华大学 机械工程与自动化学院, 四川 成都 610039)

摘要:在燃气热水器温度控制的数学模型基础上,提出利用大林算法来处理燃气热水器温度控制系统纯滞后的惯性环节,利用Fuzzy-PID算法实现给定燃气流量的控制。通过对大林控制器的详细设计过程和对燃气热水器温度控制系统的实例仿真可以看出,该控制方法具有良好的鲁棒性和较高的灵敏度,这为以后进一步研究奠定了基础。

关键词:大林算法; 燃气热水器; 温度控制系统; Fuzzy-PID; 计算机仿真

中图分类号: TP273.5 文献标志码: A 文章编号: 1002-1639(2012)03-0012-03

The Fuzzy-PID Control Method for Temperature of Gas-fired Water Heater Based on Dahlin Algorithm

Du Fu-yin

(School of Mechanical Engineering and Automation, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Based on the mathematical model of gas-fired water heater temperature control system, proposed using Dahlin algorithm and Fuzzy-PID controllers to handle the pure delay inertial link of gas-fired water heater temperature control system. Through the detailed design process of Dahlin Fuzzy-PID controller and the example simulations of the gas-fired water heater temperature control system, the control method proposed in this paper has better robust property and higher susceptibility, which is foundation for more study.

Key words: Dahlin algorithm; gas-fired water heater; temperature control system; Fuzzy-PID; computer simulation

随着人们生活条件的改善,使用燃气热水器的舒适性和方便性已经成为现代人的追求,从而对热水器的恒温控制提出了严格的要求。燃气热水器是一个时变、滞后的非线性系统,其燃烧控制是典型的复杂控制,针对这一问题,出现了很多仿人智能控制原理的恒温控制的方法^[1-4]。

在温度控制技术领域中,普遍采用PID控制算法。但是在一些具有纯滞后环节的系统中,PID控制很难兼顾动、静两方面的性能,而且多参数整定也很难实现最佳控制。若采用大林算法,可做到无或者小超调,无或小稳态误差,控制效果比较理想。大林算法是由美国IBM公司的大林(Dahlin)于1968年针对工业生产过程中含纯滞后的控制对象的控制算法。鉴于大林算法控制^[5-7]是一种被广泛采用的具有较强鲁棒性的工业控制策略,本文结合大林算法控制器和燃气热水器的特点,提出了一种新型的燃气热水器的控制方案。该控制方案直接以出

收稿日期: 2012-01-13

基金项目: 西华大学重点科研基金项目(项目编号: Z1120227)

作者简介: 杜福银(1969—),男,高级工程师,博士研究生,主要研究方向为控制理论与控制工程。

4 结论与认识

针对现在焊接工艺过程中,加热工具工作效率比较低,存在着较大的安全隐患的情况,设计了一种即能加热又能保温的装置,来保证焊接质量,提高磨鞋的制造水平。通过实践证明,该装置能满足生产的需要,并且能较大的提高生产效率和工作环境的安全性,适合推广。针对该装置火源控制的问题,应作进一步的改进,提高其自动化的水平。

参考文献:

[1] 陈庭根,管志川.钻井工程理论与技术[M].东营:中国石油大学出版社,2000: 339-343.

油大学出版社, 2006.

- [2] 夏民利, 冯小红, 曾进. 一种新的大直径落鱼打捞筒 [J]. 钻采工艺, 2006, 29 (2): 75-76.
- [3] 石强, 陈安明, 褚道余. 大尺寸套管落鱼事故的处理方法探讨 [J]. 海洋石油, 2006, 26 (2): 80-83.
- [4] 吕英民. 材料力学 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1993.
- [5] 李克向. 钻井手册(甲方)上册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 339-343.
- [6] 杜晓瑞, 王桂文, 王德良. 钻井工具手册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 634.

水温度为目标，能够使出水温度快速跟踪目标。

1 燃气热水器的工作原理

家用燃气热水器工作原理图如图1所示，被控对象是水箱中的水。该控制系统的工作原理是：冷水流入水箱，燃气经数字比例阀流至燃烧器，燃烧、放热，经过热传导作用将水箱中的冷水加热，加热后的水流经淋浴喷头喷出。若由于某种原因，水箱中水温下降，低于给定值，则热敏元件将检测到的水温转化成一定形式的物理量后，反馈给控制器，控制器将给定值和检测值比较计算后，发出控制指令，将阀门开度增加，且误差越大，阀门开启的程度越大，使更多的燃气参与燃烧，直到检测值与给定值相符为止。反之，若水温偏高，则进行相应调节。

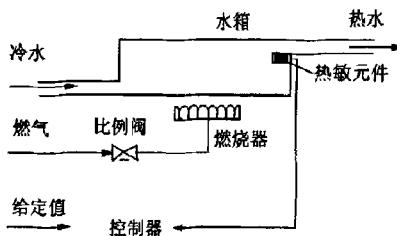


图1 燃气热水器工作原理图

2 燃气热水器的简化数学模型

燃气热水器的加热过程具有可变的时延迟特性，运行包括化学反应、传热和流体运动等过程，不考虑管路系统的复杂性和难控性，根据热平衡关系可建立热水器的简化数学模型^[8]，如式(1)所示。

$$nW = cV\rho\Delta T/60 = cm\Delta T \quad (1)$$

式中： ΔT 为当前出水温度相对于进水温度的变化量，即出水温差，K；本文研究进水温度恒定的工况，此时，只要控制 ΔT ，也就控制了当前出水温度； V 为当前水的流量，L/min； ρ 为水的密度，kg/m³； m 为热水器水体的质量，kg； c 为水的比热容，值为1kJ/kg·K； W 为燃气热水器热负荷（输入热量），kJ/s； n 为燃气热水器热效率。

假设出水温差就是燃气热水器水体的温差，建立热水器水体温差的微分方程为

$$cm \frac{d\Delta T}{dt} = nW - cm\Delta T \quad (2)$$

对式(2)两边进行拉氏变换，得

$$\Delta T(s) = \frac{nW(s)}{cms + cm} \quad (3)$$

实际的系统存在纯滞后环节，系统模型还需要串连一个纯滞后环节，滞后的时问常数为 τ ，得

$$\Delta T(s) = \frac{nW(s)}{cms + cm} e^{-\tau s} \quad (4)$$

由式(4)可得热水器加热系统的传递函数，如式(5)所示。

$$G_p(s) = \frac{\Delta T(s)}{W(s)} = \frac{n}{cms + cm} e^{-\tau s} \quad (5)$$

纯滞后环节时间常数为

$$\tau = \frac{60l}{V} \pi \left(\frac{d_p}{2} \right)^2 \quad (6)$$

式中： d_p 为水管内径，m； l 为水温传感器与水管加热部位之间的距离，m。

可以看出，热水器水体温度控制的模型是一个带纯滞后环节的一阶惯性环节，输出是出水温度，输入是燃气所产生的热量，可控制。

3 基于大林算法的燃气热水器温度控制律

3.1 基于大林算法的燃气供应量控制律

大林算法的设计目标是将期望的闭环响应设计成一阶惯性加纯滞后，然后反过来得到能满足这种闭环响应的控制器。

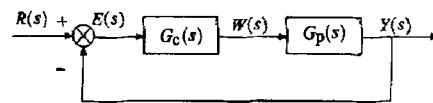


图2 控制系统框图

对于如图2所示的控制系统， $G_c(s)$ 是控制器， $G_p(s)$ 是式(5)所确定的控制对象，则闭环系统传递函数为

$$\Phi(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \quad (7)$$

若事先设定系统的闭环响应 $\Phi(s)$ ，则可得控制器为

$$G_c(s) = \frac{W(s)}{E(s)} = \frac{\Phi(s)}{G_p(s)(1 + \Phi(s))} \quad (8)$$

大林算法确定、期望的闭环响应是一阶惯性加纯滞后，纯滞后的时间等于对象的纯滞后时间常数 τ 。

$$\Phi(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{e^{-\tau s}}{T_\phi s + 1} \quad (9)$$

式中： T_ϕ 是闭环系统的时间常数，由此可得基于大林算法的燃气供应量控制律式(8)。

3.2 基于模糊-PID控制律的目标燃气供应量的控制

式(8)是基于大林算法使得期望温度时的现场燃气供应量得以确定，但目标燃气供应量是需要控制燃气比例阀开口大小来实现，同样比例阀开口大小在燃气供应压力波动的情况下供应的燃气流量是变化的，因此燃气供应量的控制是一个时变的过程控制。

模糊-PID控制技术具有不依赖于对象精确数学模型的优点^[9]。本文将模糊推理运用于PID参数自整定，实现对PID参数的最佳调整。使控制器具有PID的较高控制精度和模糊控制灵活而适应性强的特点，适于具有时变的燃气流量过程控制。Fuzzy-PID控制器系统结构如图3所示。

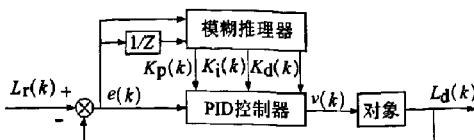


图3 Fuzzy-PID控制器系统框图

图3中, k 为采样时刻; $L_r(k)$ 为控制目标 k 时刻燃气流量给定值; $L_d(k)$ 为控制目标 k 时刻实际值, 数字PID可表示为

$$v(k) = K_p(k)e(k) + K_i(k)\sum_{j=0}^k e(j) + K_d(k)\Delta e(k) \quad (10)$$

式中: $v(k)$ 为控制器产生的控制量, 即阀口大小; $e(k)$ 为系统误差; $\Delta e(k)$ 为系统误差变化率; $K_p(k)$ 为比例系数, 影响系统响应速度和精度; $K_i(k)$ 为积分作用系数, 影响系统稳态精度; $K_d(k)$ 为微分作用系数, 影响系统动态性能。

3.3 燃气流量 Fuzzy-PID 控制器的建立

3.3.1 选择输入输出变量

定义系统误差 $e(k) = L_r(k) - L_d(k)$, 系统误差变化率为: $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ 。则 $e(k)$, $\Delta e(k)$ 作为模糊控制器的输入变量, PID控制器的三个参数的变化量 $\Delta K_p(k)$ 、 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$ 作为模糊控制器的输出变量, 则有

$$\begin{cases} K_p(k) = K_p(k-1) + \Delta K_p(k) \\ K_i(k) = K_i(k-1) + \Delta K_i(k) \\ K_d(k) = K_d(k-1) + \Delta K_d(k) \end{cases} \quad (11)$$

3.3.2 确定输入输出量的论域和比例因子

本系统中输入变量为 $e(k)$ 、 $\Delta e(k)$, 输出变量为 $\Delta K_p(k)$ 、 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$, 模糊论域为 $[-5, 5]$, 模糊子集为 {NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB}, 所有模糊集合隶属度函数为正三角形隶属度函数, 且在论域 $[-5, 5]$ 上均匀分布, NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB 的含义依次为: 负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大。5个变量的量化因子 $K_e(k)$ 、 $K_{\Delta e}(k)$ 、 $K_{\Delta K_p}(k)$ 、 $K_{\Delta K_i}(k)$ 、 $K_{\Delta K_d}(k)$ 的量值分别为 1、1、50、50、50。

3.3.3 建立模糊规则表

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验, 建立合适的模糊规则表, 得到针对 $\Delta K_p(k)$ 、 $\Delta K_i(k)$ 和 $\Delta K_d(k)$ 三个参数分别整定的模糊规则表, 见表1~表3。

表1 $\Delta K_p(k)$ 的模糊规则表

$e(k)$	$\Delta e(k)$						
	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

万方数据

表2 $\Delta K_i(k)$ 的模糊规则表

$e(k)$	$\Delta e(k)$						
	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 $\Delta K_d(k)$ 的模糊规则表

$e(k)$	$\Delta e(k)$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NB	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	MS	ZO
NS	PS	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

在线运行过程中, 控制系统通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表和运算, 完成对 PID 参数的在线自校正。

4 仿 真

设有一家用燃气热水器, 效率为 $n=1$, 容量为 10L , 即 ($V=10\text{ L/min}$, 可得: $cm=0.71\text{ kJ}$), 水管内径 $d_p=0.015\text{ m}$, 水温传感器与水管加热部位之间的距离 $l=0.8\text{ m}$ (可得: $\tau=0.83$), 则燃气热水器水温控制系统控制对象为

$$G_p(s) = \frac{\Delta T(s)}{W(s)} = \frac{1}{s+1}e^{-0.83s} \quad (12)$$

采样时间为 $T=0.5\text{ s}$, 期望的闭环响应设计为

$$\Phi(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{e^{-0.83s}}{0.15s+1} \quad (13)$$

给定温度为 40°C 时, 系统响应如图4所示。

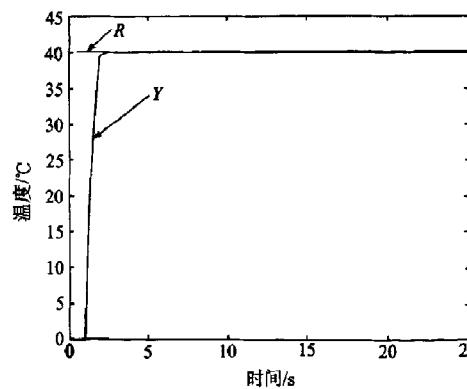


图4 系统响应结果

图中的 R 是给定温度, Y 是实际输出温度, 可以看出, 系统能够快速跟踪给定值, 获得了良好的控制效果, 具有一定的应用和推广价值。

PC钢棒生产线用感应加热电源发展动态及选用

赵前哲^{1,2}, 周伟松², 柳亦兵¹, 刘衍平¹

(1. 华北电力大学 能源动力与机械工程学院, 北京 102206; 2. 清华大学 核能与新能源技术研究院, 北京 100084)

摘要: 从电路拓扑结构和半导体开关器件两个方面, 对PC钢棒热处理生产线用感应加热电源进行了分类, 结合目前国内外生产线的实际应用情况和最新动态, 分析了各类电源在PC钢棒热处理生产线中应用的优缺点, 提出了PC钢棒生产线用感应加热电源的选用原则。

关键词: 感应加热; 电源; PC钢棒生产线

中图分类号: TG155.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-1639(2012)03-0015-03

The Development and Selection Principle of Induction Heating Power Supply for PC Steel Bar Production Line

ZHAO Qian-zhe^{1,2}, ZHOU Wei-song², LIU Yi-bing¹, LIU Yan-ping¹

(1. School of Energy Power and Mechanical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The power supply of PC steel bar is classified by the circuit topology and the semiconductor devices, and the newest trends of the domestic and foreign production lines are introduced. Considering of the advantages and disadvantages of all kinds of power supplies, the selection principle of the heating power supply for the production line of PC steel bar is proposed.

Key words: induction heating; power supply; production line of PC steel bar

由于预应力混凝土用钢棒(Steel Bar for Prestressed Concrete, 简称PC钢棒)具有高强韧性、低松弛性、良好的可焊接性、镦锻性、节省材料等特点, 在国外已被广泛应用于高强度预应力混凝土离心管桩、电杆、高架桥墩、铁路轨枕等预应力构件中。目前, 国内PC钢棒连续热处理生产线通常由三台淬火和一台回火感应加热炉组成, 如图1所示^[1]。

PC钢棒生产线的典型生产工艺是: 钢棒采用感应加热的方式被加热到淬火温度(大约950℃), 随后用水冷却淬火, 然后由回火感应加热炉加热到350~450℃, 回火温度主要由产品的抗拉强度等综合性能指标决定^[2]。生

产线的核心设备是感应加热电源和加热炉, 一般来说这两者的加热效率和故障率决定了整条热处理生产线的加热效率和故障率。

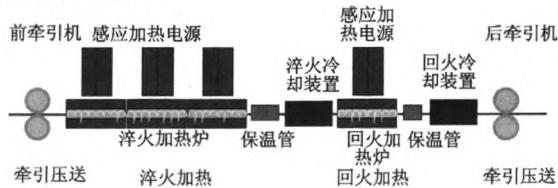


图1 PC钢棒连续热处理生产线框图

1 感应加热电源的分类

近年来随着现代半导体集成技术与功率半导体技术的发展, 感应加热电源的技术开发也已具有相当的水平, 以下将从感应加热电源的电路拓扑技术和半导体开关器

业大学学报, 2001, 19 (1): 69-71.

[4] 李祖枢, 曾成, 张华, 等. 仿人智能控制在双功能燃气热水器中的应用 [J]. 自动化技术与应用, 2004, 23 (8): 4-7.

[5] 赵德元. 电阻炉温度的大林算法控制 [J]. 成都大学学报, 2004 (2): 25-29.

[6] 张涛, 薛鹏翥, 孟庆春. 大林算法在位置随动系统中的应用 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26 (3): 398-400.

[7] 刘金琨. 先进PID控制及其MATLAB仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 6.

[8] 曾成. 基于仿人智能控制的双功能燃气热水器控制器设计与研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004: 1-3.

[9] 朱晓娟, 蔡新合, 杨放, 等. 基于Fuzzy-PID的灰水处理控制系统 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42 (2): 260-263.

收稿日期: 2011-12-19; 修回日期: 2011-12-28

作者简介: 赵前哲(1976—), 男, 在读博士研究生, 主要研究方向为
感应加热成套设备及工艺。

5 结语

在带有纯滞后环节的燃气热水器温度控制系统中, 为了减小超调, 减小静态误差, 采用大林算法控制, 得到了较理想的控制效果。

参考文献:

- [1] 杜福银, 徐扬. 家用燃气热水器自适应模糊控制策略 [J]. 工业加热, 2005, 34 (6): 20-22.
- [2] 苏百顺, 孙秋萍, 倪水平. 基于BP神经网络PID算法的燃气热水器恒温控制系统 [J]. 现代制造, 2008 (10): 90-93.
- [3] 朱荣明, 戴冠中. 燃气热水器水温智能控制系统 [J]. 西北工