

模糊自适应控制在转炉氧枪定位中的应用

姜 鹏¹, 谢时杰¹, 章家岩¹, 李天平²

(1. 安徽工业大学 电气信息学院, 安徽 马鞍山 243002;
2. 山东师范大学 传播学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 针对氧枪定位控制的特点, 采用模糊自适应 PID 控制策略对 PID 参数进行自整定, 来实现氧枪的定位控制。在给出模糊控制器的详细设计方案的基础上, 对被控对象进行了仿真。结果表明, 与常规 PID 控制方法相比, 模糊自适应 PID 控制具有较好的稳态和动态性能。

关键词: 氧枪; 模糊控制; PID; 仿真

中图分类号: TF345.06 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1043(2009)03-0031-03

Application of fuzzy self-adapt control in positioning convertor lance position

JIANG Peng¹, XIE Shi-jie¹, ZHANG Jia-yan¹, LI Tian-ping²

(1. School of Electrical Engineering and Information, Anhui University of Technology, Ma 'anshan 243002, China; 2. School of Transmission, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: In light of the characteristics of the lance position control the PID parameters are adjusted by means of the fuzzy PID self-adaptive scheme so as to realize the control of the oxygen lance positioning. The controlled object is simulated on the basis of draw-up of a detailed design plan of the fuzzy controller. Results show that in comparison with the conventional PID control method the fuzzy self-adaptive PID control is featured of better static and dynamic performance.

Key words: oxygen lance; fuzzy control; PID; simulation

氧枪是转炉炼钢的重要设备, 其主要作用是向转炉输送氧气和氮气, 以完成冶炼和溅渣护炉工作, 其性能好坏将直接关系到冶炼效果和吹炼时间, 从而影响到钢的质量和产量。氧枪的工作性能好坏取决于其控制系统的性能优劣, 氧枪控制包括定位控制、压力、流量控制和联锁控制等, 而定位控制尤为关键。枪位不准将直接影响炼钢过程中的脱碳、造渣、升温以及溅渣护炉工艺, 造成炼钢命中率低, 吹炼过程难以平稳^[1]。常规枪位控制采用的 PID 法, 由于存在超调量大、调节时间长、控制效率低、参数整定困难等缺点, 难以满足实际使用要求。为此, 本文将模糊控制与 PID 法相结合, 应用于氧枪定位控制系统, 以解决常规 PID 控制过程中所存在的问题, 获得了较好的效果。

1 系统分析

1.1 枪位控制工艺及特点

转炉炼钢过程是不断向转炉内吹氧冶炼的化学反应过程。吹炼时要求氧枪下降到炉内距熔池液面一定高度, 并随冶炼时间及钢种变化进行位置调整。这个高度定位是否精确 (± 2 cm) 将影响炼钢工艺的主要经济技术指标。如图 1 所示, 氧枪运行的基本工艺过程是: 正常生产时, 氧枪从等待点开始下降, 经过变速点、开关氧点至吹炼点停止, 进行吹炼。吹炼点表示为氧枪枪头距熔池液面的距离。吹炼一段时间后, 提枪到等待点根据倒炉取样化验结果确定是否要进行补吹。如此, 直到吹炼完毕、倒炉出钢, 完成一个冶炼周期。氧

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金重点资助项目 (KJ2007A109ZC), 山东省教育厅科技计划项目 (J07YJ05)

作者简介: 姜 鹏 (1969 -), 男, 安徽工业大学电气信息学院, 高级工程师, 从事智能检测与先进过程控制和计算机应用的研究。

枪的整个行程根据工艺要求设置了上极限、下极限、等待点、开关氧点等多个工艺状态点。这些状态点由凸轮控制器检测,而控制系统则通过对氧枪提升卷扬装置上配置的旋转编码器输出的脉冲,进行计数来实现氧枪升降行程的检测。氧枪的升降运行是通过氧枪升降动力装置驱动进行的,升降装置通常有升降小车、导轨、卷扬机、横移装置、钢丝绳滑轮及氧枪高度指示标尺等组成。氧枪固定在升降小车上,升降小车沿导轨上下移动。钢丝绳卷筒与氧枪升降电机同轴,由 PLC 控制的变频器驱动氧枪电机,控制氧枪的上升和下降。为保证安全,氧枪升降控制还必须与工艺过程连锁。因此氧枪控制的特点体现为:负载大、惯性强、定位要求快速准确、升降运行稳定可靠。

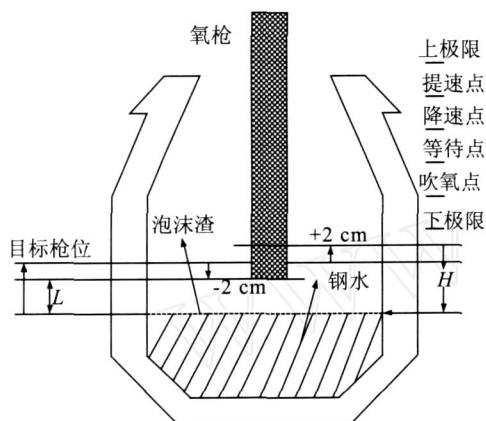


图 1 转炉氧枪的控制枪位

1.2 枪位控制原理

目前氧枪定位控制通常采用常规的 PID 控制法,原理框图如图 2 所示。控制系统根据实际枪位与目标枪位的距离,通过 PID 调整后输出到变频器,从而调整电机转速,控制卷扬机构,调节氧枪的升降速度,最终使氧枪在目标枪位停下。由于氧枪传动系统由升降小车、交流电机、卷扬机构组成,使得氧枪这个受控对象不是一个简单的线性模型,而具有非线性、时变、耦合等特点,因此采用一般的 PID 控制算法,不仅超调量大,调节时间长,动态和稳态性能都难以满足转炉冶炼快节奏的生产要求。另外,常规的 PID 控制最主要的问题是参数整定问题,即 K_p 、 K_i 、 K_d 3 个参数的整定要根据被控对象的数学模型来确定。而对于氧枪受控对象,难以用精确的数学模型来描述,从而导致 PID 参数的合理整定非常困难,因此难以达到良好的控制效果^[2]。

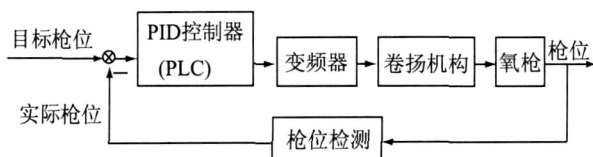


图 2 氧枪枪位控制原理

2 自适应模糊 PID 枪位控制方案

根据转炉炼钢工艺的上述特点以及氧枪定位控制的原理,分析发现,将模糊控制与 PID 相结合,利用模糊自学习和推理实现 PID 参数自整定,设计一种自适应模糊 PID 控制算法,可较好地解决传统 PID 枪位控制的不足,原理如图 3。

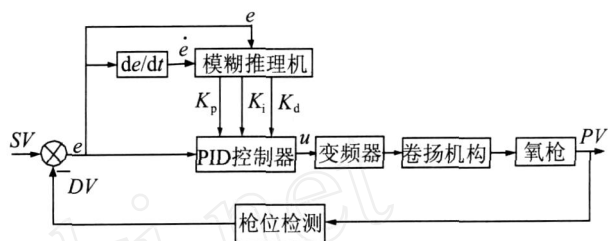


图 3 模糊自整定 PID 控制方案

图 3 中 SV 、 PV 、 DV 分别表示枪位设定值、过程值、检测值, e 和 $\dot{e}$ 分别为偏差和偏差变化率, E 和 EC 表示 e 和 $\dot{e}$ 经过量化后的语言变化量, u 为经过输出量化后的实际输出。模糊 PID 控制器是基于 PID 控制算法并通过计算当前系统误差 e 及其变化率 $\dot{e}$, 利用模糊规则进行推理, 查询模糊矩阵进行参数调整。模糊规则主要源于操作人员的经验和专家知识, 控制器的模糊规则表要提前离线制定, 在线调试完成后一直保持不变, 因此存在一定的不足, 例如: 自适应能力和鲁棒性有限, 稳态精度不高; 在构造控制器时, 由于操作员很难用语言来解释, 且过程复杂难于给出完善的控制规则, 因此要引入自适应机制, 以保证控制效果。

3 自适应模糊 PID 控制器的设计

控制器选择西门子带闭环控制的位置控制模块 FM-354。它是一种用于 300 系列 CPU 的单轴闭环位置模块。可以使用手动进给、增量进给、回参考点、MDI、自动、单段等方式进行定位, 还具有闭环模拟伺服所需的自动漂移补偿、位置监控、误差监控等功能。模块可以用标准的 NC 语言进行运动程序的编制。另外, 实现自适应的模糊控制必须调用库函数模块进行通讯编程。对于 S7-300, 应把模糊规则表放在一个单独的数据块 (DB

块)中,编制一个子程序,然后在主程序段 OB1 中调用此子程序,实现 FM-354 的参数读取,表的制定是模糊控制器设计的核心:总结技术人员的知识和经验,记录多炉次枪位,通过迭代运算和加权平均等算法,算出一组针对 K_p 、 K_i 、 K_d 3 组参数的合理值。得到的模糊控制表如表 1。

表 1 不同偏差变化值的模糊控制值

E	ΔK_i						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB NB PS	PB NB NS	PM NM NB	PM NM NB	PS NS NB	ZO ZO NM	ZO ZO PS
NM	PB NB PS	PB NB NS	PM NM NB	PS NS NM	PS NS NM	ZO ZO NS	NS ZO ZO
NS	PM NB ZO	PM NM NS	PM NS NM	PS NS NM	ZO ZO NS	NS PS NS	NS PS ZO
ZO	PM NM ZO	PM NM NS	PS NS NS	ZO ZO NS	NS PS NS	NM PM NS	NM PM ZO
PS	PS NM ZO	PS NS ZO	ZO ZO ZO	NS PS ZO	NS PS ZO	NM PM ZO	NM PB ZO
PM	PS ZO PB	ZO ZO PS	NS PS PS	NM PS PS	NM PM PS	NM PB PS	NB PB PB
PB	ZO ZO PB	ZO ZO PM	NM PS PM	NM PM PM	NM PM PS	NB PB PS	NB PB PB

表 1 说明^[5]:如果“偏差”是“负大”,不管“偏差变化”为何值,则应“大幅度提枪”(if $E = NB$ then $U = PB$);如果“偏差”是“负小”,且“偏差变化”是“负大”,则应“大幅度提枪”(if $E = NS$ and $EC = NB$ then $U = PB$),其它情况类推。

4 系统仿真

仿真之前,应利用扩充临界比例度法对参数进行预整定:首先选择一个足够短的采样周期 T ,让系统作纯比例控制,然后调整 K_p 的值,当出现临界振荡时,记下临界振荡周期 T_s 和临界振荡增益 K_s ;然后选择合适的控制度(控制度就是数字控制器和模拟调节器所对应的过渡过程的误差平方的积分比);最后根据控制度,查标准表,即可得出 T 、 K_p 、 K_i 和 K_d 的值。根据工程经验,采样周期一般小于纯滞后时间的 $1/10$ 。通过上述步骤,确定 K_p 、 K_i 和 K_d 选择最佳参数并将其固定。

预整定后, K_p 、 K_i 、 K_d 分别取 1.6, 6.8, 0.4。 ΔK_p 取 $[-0.67, 0.67]$, ΔK_i 为 $[-5, 5]$, ΔK_d 为 $[-0.7, 0.7]$ 。控制器输出变量的模糊子集分别为 E 、 EC 、 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d ,各变量的语言值为: $[NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB]$,隶属度取三角波函数。论域取 $[-5, 5]$ 内的整数,模糊等级为 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ 。采用强度为 1 的阶跃输入。 E 和 EC 的基本论域为 $[-0.6, 0.6]$ 和 $[-0.3, 0.3]$ 。

模糊控制器的量化因子 k_e 、 k_{ec} ,比例因子 k_u 由以下公式得到:

$$k_e = \frac{5 - (-5)}{a_1 - b_1} = \frac{PB - NB}{a_1 - b_1} \tag{1}$$

$$k_{ec} = \frac{5 - (-5)}{a_2 - b_2} = \frac{PB - NB}{a_2 - b_2} \tag{2}$$

$$k_u = \frac{a_3 - b_3}{5 - (-5)} = \frac{a_3 - b_3}{PB - NB} \tag{3}$$

式(1~3)中 a_1 、 a_2 、 a_3 分别为偏差、偏差变化和输出空质量的最大值; b_1 、 b_2 、 b_3 分别为偏差、偏差变化和输出空质量的最小值。根据整定原则,选出一组最优参数。

分析氧枪传动系统的数学模型,其传递函数为:

$$\frac{2.4632}{s^2 + 2.8124 \cdot s + 1.3052}$$

利用 MATLAB 提供的模糊控制工具箱,数字控制采样频率为 10 kHz,可得到如图 4 的仿真结果。

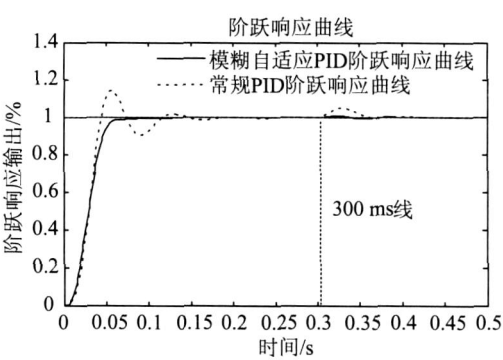


图 4 阶跃响应曲线

由图 4 所示的阶跃响应曲线可以看出,常规 PID 控制过程不平稳,系统过渡时间较长,控制品质较差;而自适应模糊 PID 控制的动态响应过程平稳、超调量小、稳态精度高,说明它比常规的 PID 方法具有更好的动态和稳态控制效果。如在 300 ms 时加入幅值为 1 的干扰,常规 PID 控制振荡幅度较大,而模糊自适应 PID 则几乎没有振荡,抗干扰能力大大优于前者。氧枪干扰通常来 (下转第 77 页)

表 1 研发模型与 Alpha 机运行结果对比

拉速/ (m·min ⁻¹)	1 段坯壳厚度/ mm		7 段冷却水量/ (L·m ⁻² ·min ⁻¹)		7 段表面温度/ ℃		拉速/ (m·min ⁻¹)	1 段坯壳厚度/ mm		7 段冷却水量/ (L·m ⁻² ·min ⁻¹)		7 段表面温度/ ℃	
	Alpha	PC	Alpha	PC	Alpha	PC		Alpha	PC	Alpha	PC	Alpha	PC
1.000	17.1	17.2	73.7	73.7	925.5	925.5	1.183	16.3	16.3	74.0	74.0	925.1	925.1
1.017	17.1	17.1	73.7	73.8	925.4	925.4	1.167	16.3	16.7	74.1	74.1	925.0	925.0
1.033	17.1	17.0	73.7	73.8	925.5	925.6	1.150	16.4	16.4	74.2	74.2	925.1	925.1
1.050	17.0	16.9	73.8	73.9	925.1	925.1	1.133	16.5	16.3	74.3	74.3	924.7	924.8
1.067	16.9	16.9	73.8	73.8	925.2	925.2	1.117	16.7	16.7	74.4	74.4	924.8	924.8
1.083	16.9	16.7	73.8	73.8	925.3	925.3	1.100	16.7	16.7	74.5	74.5	924.9	924.9
1.100	16.8	16.8	73.8	73.9	925.4	925.4	1.083	16.8	16.7	74.6	74.6	925.1	925.1
1.117	16.7	16.7	73.8	73.8	925.4	925.5	1.067	16.8	16.8	74.7	74.7	924.7	924.7
1.133	16.6	16.6	73.8	73.8	925.5	925.5	1.050	16.9	16.9	74.9	74.9	924.7	924.7
1.150	16.4	16.4	73.8	73.8	925.1	925.1	1.033	17.0	17.0	75.0	75.0	924.7	924.7
1.167	16.3	16.3	73.9	73.9	925.2	925.2	1.017	17.1	17.1	75.1	75.1	924.3	924.3
1.183	16.2	16.2	73.9	73.9	925.3	925.5	1.000	17.1	17.1	75.2	75.2	924.4	924.4
1.200	16.0	16.0	74.0	74.1	925.5	925.5							

[参考文献]

[1] 张建立,王长松,樊 厉,等. 奥钢联板坯连铸过程控制系统升级改造的研究[J]. 冶金能源,2006,(5):55-58.

[2] 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 北京:科学出版社,2001:128-173.

[3] C W Lan,C C Liu and C M Hsu. An adaptive finite volume method for incompressible heat flow problems in solidification[J]. Journal of Computational Physics, 2002,178: 464-497.

[4] 陈建尧,范宝明. 二次冷却动态控制的研究与分析[J]. 宝钢技术,2000,(4):37-39.

[5] Z Radovic M Lalovic. Numerical simulation of steel ingot solidification process[J]. Journal of Materials Processing Technology. 2005,160: 156-159.

[6] 奥钢联. 安阳钢铁公司第一炼轧厂板坯连铸生产技术手册[M]. 1998

(修回日期:2008-09-20)

(上接第 33 页)

自于氧枪的周围设备和环境,比如氧压不均,转炉炉口气流压力差,金属喷溅等。从图中还可以看出:常规 PID 控制超调(振荡)量较大,若随机干扰加大,则系统将变得不稳定。而模糊自适应 PID 控制超调量较小,能有效和迅速地消除干扰,具有较强的鲁棒性。常规 PID 控制的扰动响应稳态精度不高,存在较大的静差。而模糊自适应 PID 控制则能对负载的变化做出及时反应,且稳态精度较高。

5 结 论

本文针对氧枪系统的时变、耦合等非线性特点,提出了一种基于自适应模糊 PID 控制策略的氧枪定位控制方案,将 PID 控制算法的输出误差作为模糊控制器的输入,通过建立合理的枪位模糊控制规则,应用模糊推理自学习方法来自动调整 PID 参数。仿真结果以及在梅山钢铁公司炼钢厂 1 号转炉上的应用实践表明,此方法具有超

调量小,调节时间短,鲁棒性好、抗干扰能力强、稳态精度高等优点,是适用于氧枪定位控制的有效策略。

[参考文献]

[1] 张乐金,薛 峰,崔代宝. 炼钢厂转炉系统自动化控制[J]. 冶金动力,2003,(6):69-71.

[2] 李敏远,都延丽,姜海鹏. 智能自整定 PID 在药剂温度控制系统中的应用[J]. 控制理论与应用,2003,(5):806-807.

[3] 周黎英,赵国树. 模糊 PID 控制算法在恒速升温系统中的应用[J]. 仪器仪表学报,2008,(2):406-409.

[4] 田淑杭,姜丽娟. 一种参数自整定模糊 PID 控制器的研究[J]. 电气传动自动化,2003,(6):28-30.

[5] 陈 龙,马伯渊,张雪峰. 智能 PID 控制在电石炉电极调节系统中的应用[J]. 系统仿真学报,2007,(7):1-4.

[6] 李国勇. 一种新型的模糊 PID 控制器[J]. 系统仿真学报,2003,(10):1492-1493.

[7] Hiroshi Yamen, Bell J T. Development of expert system and Mn online sensor for bop process[C]// Steelmaking Conference Porceedings,1991,(74):453-458.

[8] Yang Chunhua,Li Jian. A starter testing system based on fuzzy-PID control[J]. Cont-Theory & Applications,2003,(10):1-6.

(修回日期:2008-11-20)

