

BP神经网络PID控制器在热油锅炉温控中的应用

任有志, 乔松, 孙继春, 满晓飞

(河北科技大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050018)

摘要:介绍了基于BP神经网络PID控制算法,结合多模态控制理论,提出将BP神经网络PID控制器应用于热油锅炉温控中,并将其与普通PID控制进行比较。结果表明,该方法具有超调量小、过渡时间短、鲁棒性好等特点,弥补了常规PID在锅炉控温中参数难以整定等缺点。将此控制策略应用于热油锅炉温控中,构建了锅炉的自控系统,使锅炉处于最佳的燃烧状态,保证锅炉的安全经济运行。

关键词:BP神经网络;PID控制器;多模态;超调量;鲁棒性

中图分类号:TP27 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd19484

Application of BP Neural Network PID Controller in Temperature Control of Thermal Oil Boiler

REN Youzhi, QIAO Song, SUN Jichun, MAN Xiaofei

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, Hebei, China)

Abstract: The PID control algorithm based on BP neural network was introduced, combining with multi-mode control theory, BP neural network PID controller was applied to the temperature control of hot oil boiler. The neural network PID was compared with the ordinary PID control. The results show that the method has the characteristics of small overshoot, short time and good robustness, which makes up for the shortcomings of conventional PID in the boiler temperature control, such as the parameters is difficult to be adjusted. This control strategy is applied to the temperature control of hot oil boiler, and the self-control system of the boiler is constructed to make the boiler in the best combustion state and ensure the safe and economical operation of the boiler.

Key words: BP neural network; PID controller; multi model; overshoot; robustness

在大型热油锅炉加热循环油的过程中,传统工艺一般采用常规PID控制器控制炉油温度,其被控对象是炉油温度,炉油温度的变化具有非线性、时变的特点,常规PID控制达不到理想的控制效果。此控制以炉油温度为研究对象,以常规PID控制器结合BP神经网络作为整体控制方案,通过BP神经网络对系统性能的学习找到能使其达到最优的PID控制参数,并将其直接传送给常规PID控制器,从而得到基于BP神经网络整定的PID控制器^[1]。

1 控制系统研究

1.1 锅炉生产工艺流程

热油锅炉生产工艺流程如图1所示。在升温

过程中通过触摸屏和智能仪表对锅炉的运行状态进行实时监控,检测出油温度、回油温度、炉膛负压等,并分别对炉排变频器、鼓风变频器、引风变频器进行控制,实现锅炉的平稳运行^[2]。

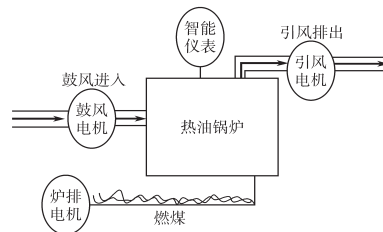


图1 锅炉燃烧工艺示意图

Fig.1 Schematic diagram of boiler combustion process

炉排电机负责输送燃煤在排链上的运行速度;鼓风电机负责向锅炉内鼓风;引风电机负责

将炉内高压引出实现炉膛负压的目的。当炉内温度低于正常值时提高炉排电机和鼓风电机转速,引风电机相应提高引风量保证炉膛负压正常值;当炉内温度高于正常值时降低炉排电机和鼓风电机转速,引风电机相应减小引风量保证炉膛负压正常值。

1.2 控制方案的制定

因为此大型热油锅炉体积较大,所以测量的油温散度大,这样测温的效果滞后性大。通过对测温系统的了解知道,锅炉内油温在不同加热阶段的上升速率是不同的。在升温阶段,可以适当提高温升速率,这样可以减少升温时间,提高生产效率;当温度接近控温临界值时,需要平缓升温,减小温升速率,尽快过渡到控温阶段,这样可以减少超调量,从而满足温度控制的要求。

普通PID控制最明显的缺点是整套控制流程内控制参数一经确定就会一直应用于其中,参数无法进行自我调整。因此,应该采取一种新的控制方案,该方案在升温阶段采用普通PID控制进行升温,快速达到升温要求;当温度达到或接近控温临界值时,采用新的控制参数分配到PID控制中,对该控制方案进行控温,使之能够达到提高控制精度、减少资源浪费的目的。考虑到新的控制方案中比例、积分、微分三者之间具有任意非线性关系,所以采用基于BP神经网络的PID控制,这样能够实现任意线性表达的功能。

综上所述,将普通PID控制与基于BP神经网络的PID控制相结合能够满足此要求,也就是多模态控制理论。当温度偏差值在控温值之外时采用普通PID控制可以快速升温;当温度偏差值在控温值以内时采用基于BP神经网络的PID控制进行控温。多模态神经网络-PID结构框图如图2所示。

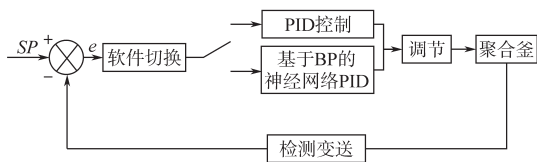


图2 多模态神经网络-PID结构框图

Fig.2 Multimodal neural network-PID structure block diagram

1.3 基于BP神经网络的PID控制器

基于BP神经网络的PID控制器结构如图3所示。BP神经网络的输出神经元对应于PID控制器的3个可调参数 K_p, K_i, K_d 。由图3可知,在锅

炉正常运行状态下,PID控制器的参数做实时调整,以适应控温的要求。通过神经网络的自学习,使神经网络输出对应于其中一种最优控制下的PID控制器参数^[3-4]。

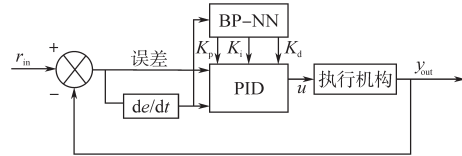


图3 基于BP神经网络的PID控制器结构框图

Fig.3 Structure block diagram of PID controller based on BP neural network

2 BP神经网络结构及控制算法

2.1 BP网络结构

BP网络结构选为4-5-3模式。输入神经元有4个,分别是 r, e, y 和单位1,其中, r 为输入, e 为误差, y 为输出;隐含神经元有5个;输出神经元有3个,分别是 K_p, K_i, K_d 。BP网络结构如图4所示。

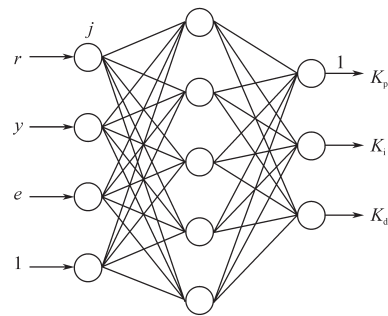


图4 BP网络结构图

Fig.4 BP network structure diagram

2.2 基于BP神经网络PID控制流程

基于BP神经网络PID控制流程的整体控制方案如图5所示,该控制算法有以下几点:

1)网络结构的选择。输入层节点数 $M=4$,隐含层节点数 $Q=5$,并给出输入层、隐含层加权系数的初值 $w_{ij}^{(1)}(0)$ 和 $w_{ij}^{(2)}(0)$,确定学习速率 η 还有惯性系数 α ,令 $k=1$ 。

2)通过PLC读取到设定温度 $r_{in}(k)$ 和炉内实时温度 $y_{out}(k)$,并计算出实时的温度差值 $e(k) = r_{in}(k) - y_{out}(k)$ 。

3)计算神经网络各神经元的输入输出,最终通过网络输出层的参数即为PID控制器的3个可调参数 K_p, K_i, K_d 。

4)各个参数实时传输给PID控制器,经过计算输出 $u(k)$ 。

5)通过对系数的调整,进而完成PID控制的自整定;将计算结果传送给变频器,从而调节鼓风电机、引风电机、炉排电机的转速,进而达到控温的目的。

6)令 $k=k+1$,返回到步骤2)开始输出层参数新一轮的自适应调整。基于BP神经网络的PID控制器自适应调整的流程就是PLC采集到温度传感器的检测信号,通过PID控制器的算法计算,将结果输出给变频器执行元件,进而调节炉内温度。

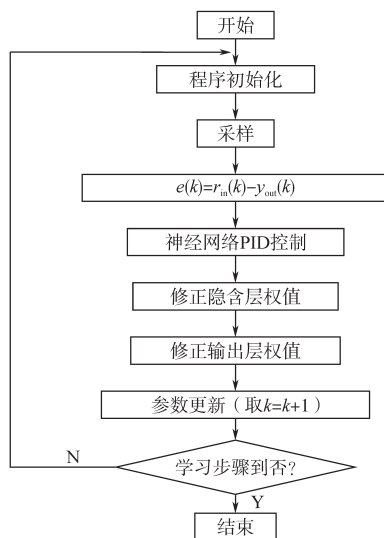


图5 算法流程图

Fig.5 Algorithm flow chart

2.3 基于BP神经网络的PID控制算法

2.3.1 输入输出函数

输入层输入函数为

$$O_j^{(1)} = x(j) \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

式中: x 为输入神经元。

隐含层中间函数为

$$f(x) = \tanh(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x}) \quad (2)$$

隐含层的输入、输出函数分别为

$$net_i^{(2)}(k) = \sum_{j=1}^4 w_{ij}^{(2)} O_j^{(1)}(k) \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

$$O_i^{(2)}(k) = f[net_i^{(2)}(k)] \quad j = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (4)$$

式中: $w_{ij}^{(2)}$ 为隐含层的加权系数。

输出层的输入、输出函数分别为

$$net_l^{(3)}(k) = \sum_{i=1}^5 w_{li}^{(3)} O_i^{(2)}(k) \quad l = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$O_l^{(3)}(k) = g[net_l^{(3)}(k)] \quad l = 1, 2, 3 \quad (6)$$

其中

$$O_1^{(3)}(k) = K_p \quad O_2^{(3)}(k) = K_i \quad O_3^{(3)}(k) = K_d$$

因此,输出层神经元的传输函数应该取非负

函数^[5]:

$$g(x) = (1/2)[1 + \tanh(x)] = e^x / (e^x + e^{-x}) \quad (7)$$

2.3.2 权系数的学习算法

性能指标函数为

$$E(k) = (1/2)[r(k) - y(k)]^2 \quad (8)$$

按梯度下降法进行系数的改良,并附加一个修正公式^[6]:

$$\Delta w_{ii}^{(3)}(k) = -\eta(\partial E(k) / \partial w_{ii}^{(3)}) + \alpha \Delta w_{ii}^{(3)}(k-1) \quad (9)$$

式中: η 为学习效率, $\eta > 0$; α 为惯性系数, $0 < \alpha < 1$ 。

综上所述,得到输出层权值学习法为

$$\Delta w_i(k) = \alpha \Delta w_i(k-1) + \eta \delta O_i(k) \quad (10)$$

其中

$$\delta = e(k) \operatorname{sgn}[\partial y(k) / \partial u(k)] \phi g' [net(k)]$$

隐含层权值学习算法为

$$\Delta w_{ij}(k) = \alpha \Delta w_{ij}(k-1) + \eta \delta_i O_j(k) \quad (11)$$

其中

$$\delta_i = f' [net_i(k)] \delta W_i(k) \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

3 调试结果比较

1)常规PID与基于BP神经网络的PID在不同阶段对温升速率的影响实验。取常规PID 3个控制参数 $K_p=1, K_i=0.2, K_d=0.03$ 进行实验,分别测量不同阶段2种控制下的温度,随机抽取锅炉60 min内温度变化作对照,结果如表1所示。

表1 升温状态下炉内油温的参数

Tab.1 Parameters of oil temperature in furnace under heating condition

时间/min	升温阶段		控温阶段	
	BP神经网络-PID/°C	常规PID/°C	BP神经网络-PID/°C	常规PID/°C
0	30.1	30.1	278.2	278.3
10	62.5	64.6	278.8	280.5
20	98.1	103.2	279.1	279.6
30	135.4	143.3	278.7	277.1
40	171.1	182.7	278.7	276.3
50	205.8	218.2	279.1	278.4
60	240.5	255.7	278.4	279.8

根据实验结果可知,升温时,采用普通PID控制进行升温,升温速率更快,更节约时间;在控温阶段采用基于BP神经网络的PID控制,温度变化超调量越小,控温效果越好^[7-8]。因此,选用多模态PID控制方案,这样既能节约时间,快速升温,又能减少超调量,平稳控温。

2)常规PID与基于BP神经网络的PID在不同时段下燃煤量的实验。分别测量不同时段2种

控制下的燃煤量,随机抽取锅炉6 h内燃煤量变化作对照,结果如表2所示。

表2 同时段下锅炉燃烧煤量的参数

Tab.2 Parameters of the amount of coal burned in the boiler at the same time

时间/h	BP神经网络-PID/kg	常规PID/kg
1	215	220
2	438	448
3	654	672
4	870	895
5	1 090	1 123
6	1 308	1 353

根据实验结果可知,采用基于BP神经网络的PID控制比采用普通PID控制更节省燃煤量,6 h内节省燃煤45 kg,单位时间内平均节省约3.3%,为企业减小了燃煤成本,提高了效益。

4 结论

由于锅炉温度控制具有时变性,所以普通PID控制很难达到目的。BP神经网络具有超强的自学习和非线性逼近能力^[9],采用多模态PID控制不仅能够满足温度控制的要求,而且能够降低超调量。通过对2种控制策略的对比,最终采取基于BP神经网络的PID控制器对热油锅炉进行控温,验证了其高效性,提高了生产效率和控

制精度,为企业节约了成本,带来了效益,值得研究推广。

参考文献

[1] 张景元. 基于神经网络的自适应模糊控制系统[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(10): 3614-3616.

[2] 任有志, 王璐, 刘辉. 基于PLC的大型热油锅炉自动化改造[J]. 河北工业科技, 2015, 32(3): 264-267.

[3] 徐丽娜. 神经网络控制结构及所用神经网络[J]. 自动化技术与应用, 2004, 23(1): 1-5.

[4] 孙明轩, 河海港, 孔颖. 基于神经网络的时变非线性系统迭代学习辨识[J]. 系统科学与数学, 2013, 33(6): 671-684.

[5] 王泽欢, 吴学华, 李文涛, 等. 神经网络算法在反应釜温度控制中的应用[J]. 中国仪器仪表, 2016, 16(8): 60-62.

[6] 冯杨, 徐庆九. 基于改进型BP神经网络的PID控制算法[J]. 控制工程, 2012, 19(4): 119-121.

[7] 于海南, 郑荣进, 步文月, 等. 基于BP神经网络PID控制器在水产温室温度控制中的应用[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(3): 312-315.

[8] Martin T Hagan, Howard B Demuth. 神经网络设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

[9] Shen J C. New Tuning Method for PID Controller [J]. ISA Transactions, 2002, 41(4): 473-484.

收稿日期: 2018-09-07

修改稿日期: 2018-11-01