

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2023) 08-062-04 中图分类号: TP29

基于改进的神经网络寻优算法在煤粉锅炉优化中的应用

Application of an Enhanced Neural network Optimization Algorithm in Pulverized Coal Boiler Optimization

- ★ 赵立军 (国家能源集团宁夏煤业有限责任公司, 宁夏 银川 750411)
★ 李金 (北京和隆优化科技股份有限公司, 北京 100096)
★ 倪万珀 (国家能源集团宁夏煤业有限责任公司, 宁夏 银川 750411)

摘要: 为进一步挖掘煤粉锅炉的燃烧效率, 提出一种改进的神经网络算法搭建锅炉燃烧模型, 并采用自适应遗传算法与动态优化边界相结合, 分别对最佳氧量、一次风量、各二次风门以及燃尽风门等参数进行寻优计算, 以使锅炉效率和污染物排放量所构建的多目标函数达到最优燃烧范围。在保证环保指标合格的前提下, 显著提升了锅炉燃烧效率。

关键词: 神经网络; 燃烧优化; 遗传算法

Abstract: In a bid to delve deeper into the combustion efficiency of pulverized coal boilers, an improved neural network algorithm is proposed to build a boiler combustion model, and the adaptive genetic algorithm is combined with dynamic optimization boundary to optimize and calculate the optimal oxygen amount, primary air volume, secondary damper and burnout damper respectively. The goal is to achieve an optimal combustion range for the multi-objective function derived from boiler efficiency and pollutant emissions. While upholding compliance with environmental protection standards for improved flow, the combustion efficiency of the boiler is significantly improved.

Key words: Neural networks; Combustion optimization; Genetic algorithm

1 引言

目前电厂大多数送风控制采用串级氧量控制以及通过人工经验调整配风方式, 在工况发生改变尤其是煤质发生变化时, 总送风量以及配风燃烧方式仅靠人工经验调整甚至于不调整、误操作, 长此以往, 很难满足经济燃烧与低排放要求, 严重的甚至造成局部高温、炉膛结焦、水冷壁爆管等安全事故。传统的控制策略在当前高节能指标的要求下越显无力, 实现锅炉的优化配风燃烧显得尤为重要。

某大型化工厂动力站共有10台煤粉锅炉, 其中1~4

号锅炉为带再热系统的600t/h锅炉, 5~10号锅炉为不带再热640t/h锅炉, 均为母管制运行。为提升全厂智能化升级改造, 公司引入了先进控制系统(RASO), 对8台煤粉锅炉进行先进控制与燃烧优化系统项目实施。

2 技术路线

RASO优化控制系统是北京和隆优化科技股份有限公司对流程工业优化控制系统平台的简称。

针对该项目, 公司进一步升级了大型母管制锅炉群控及其蒸汽管网系统, 软件整体框架如图1所示。

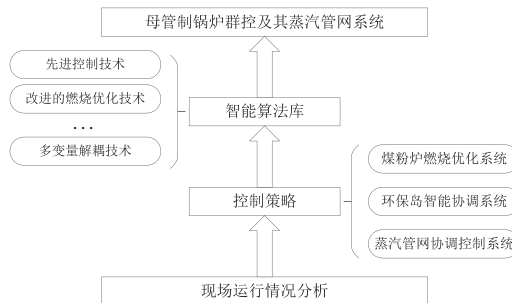


图1 软件总体框架

控制系统主要功能:

- (1) 采用基于改进的神经网络技术, 实现锅炉配风优化、燃烧优化, 以适应不同燃料热值的变化, 降低吨蒸汽煤耗;
- (2) 采用环保岛智能协调技术, 实现智能卡边控制, 满足排放要求;
- (3) 采用蒸汽管网协调控制技术, 实现锅炉负荷

智能分配，快速响应热用户负荷变化，维持母管压力稳定。

本文主要研究基于改进的神经网络寻优算法在煤粉锅炉燃烧优化中的应用，因此，先从优化原理及算法改进部分阐明，再详述技术应用效果。

3 优化原理及算法研究

3.1 优化原理

在锅炉运行稳定的基础上，为了确保环保指标和经济指标的综合最优，通过优化氧量、二次风以及燃尽风等运行参数，最终实现锅炉的优化运行。

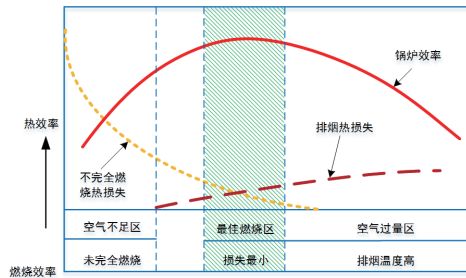


图2 燃烧优化特性曲线

图2中，如果过量空气系数过大，将使得排烟热损失增大，且 NO_x 的排放量也将增加，反之，过量空气系数过小，就会产生不完全燃烧热损失和黑烟。燃烧优化的思想就是基于最佳燃烧区，在该区域内锅炉的效率高，同时燃烧引起的 NO_x 和 SO_x 较小，飞灰含碳量较小，排烟温度低。就燃烧控制而言，在负荷、煤种等工况改变的情况下，如果仍能将燃烧控制在该区域内就可实现燃烧优化。

如图3所示，各二次风门以及燃尽风门主要采用自适应遗传算法与动态优化边界条件相结合，分别对最佳氧量、一次风量以及各二次风门、燃尽风门进行在线寻优计算，使锅炉效率和污染物排放所构建的多目标函数在不同燃烧工况下达到最优范围。

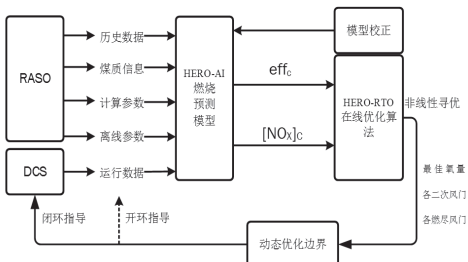


图3 燃烧优化原理图

3.2 燃烧模型构建

通过分析锅炉的燃烧特性，结合燃烧性能试验结

果，选择影响燃烧效率和氮氧化物的主要因素作为神经网络的输入，以燃烧效率和氮氧化物排放量作为神经网络的输出，建立神经网络模型。

选择不少于10组工况下的50组数据，燃料量、送风量、氧量、煤质（低位发热量、氧基、氮基、氢基、硫基、碳基）、排烟温度、大渣含碳量、飞灰含碳量、燃尽风率、环境温度、蒸发量等作为预测模型输入，即input，锅炉效率和 NO_x 作为预测模型输出，即output，建立三层BP神经网络模型，神经网络的隐含层采用S型函数，输出层采用线性函数，并初始化网络学习过程参数，依次向数据库中输入input、output数据，然后依次取一个样本作为输入，模型构架如图4所示。

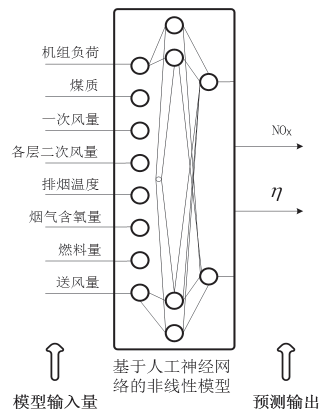


图4 神经网络模型结构示意图

主要算法步骤如下：

(1) 通过网络将输入前向传播，其中 a^0 为输入， m 为网络层数， W 为权值， b 为偏置值，公式如下：

$$a^0 = p$$

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1}a^m + b^{m+1}), \quad m=0,1,\dots,M-1$$

$$a = a^m$$

(2) 通过网络将敏感性反向传播，其中 s^M 为最后一层敏感性函数， $f(n)$ 代表网络函数， t 代表样本目标输出， a 代表网络输出，公式如下：

$$s^M = -2 \dot{F}^M(n^M) (t - a)$$

$$s^m = \dot{F}^m(n^m) (W^{m+1})^T s^{m+1}, \quad m=M-1,\dots,2,1$$

(3) 使用最速下降法更新权值和偏置值，其中 α 为学习率；

$$W^m(k+1) = W^m(k) - \alpha s^m (a^{m-1})^T$$

$$b^m(k+1) = b^m(k) - \alpha s^m$$

(4) 为提高收敛性能，加入一阶滤波器，其中 $\omega(k)$ 是滤波器输入， $y(k)$ 是滤波器输出， γ 是动量系数，满足 $0 \leq \gamma < 1$ ，公式如下：

将锅炉效率预测结果经过剔除最大最小值处理,求得平均误差为: 0.0253%, 具体如图5所示。

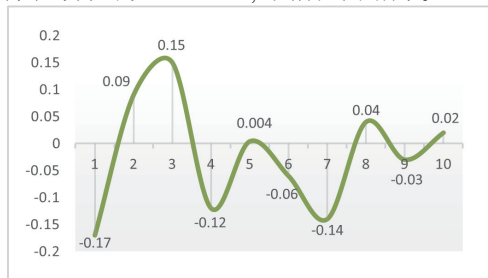


图5 炉效预测偏差-工况2

将氮氧化物预测结果经过剔除最大最小值处理,求得平均误差为: 3.7 mg/Nm³, 具体如图6所示。

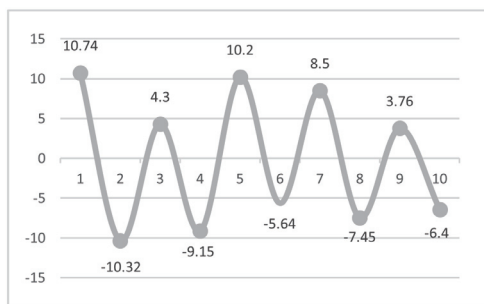


图6 氮氧化物预测偏差-工况2

4 运行效果分析

以1#锅炉为例, RASO系统运行画面如图7所示。



图7 1#锅炉二次风优化界面

以动力厂一期优化项目执行效果为例, 投用前后锅炉效率对比如图8所示。

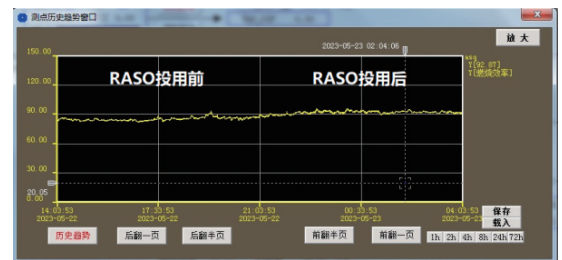


图8 优化投用前后锅炉效率曲线对比图

通过测试数据对比, 已实施的两台锅炉的节能率分别为2.3%和1.5%。

5 结语

采用改进的神经网络算法, 使模型的精度与稳定性更高, 同时, 配合模型在线修正功能, 解决了模型的时效问题, 使模型能长时间有效运算; 其次, 采用自适应遗传算法能够在保持工况群体多样性的同时, 保证遗传算法的收敛性, 快速达到以锅炉效率和NO_x排放为综合指标的经济燃烧效果, 该技术值得进一步推广。AP

作者简介:

赵立军 (1979-), 男, 宁夏银川人, 工程师, 现就职于国家能源集团宁夏煤业有限责任公司, 主要研究方向为大型煤化工系统优化控制。

李金 (1986-), 女, 陕西西安人, 高级工程师, 硕士, 现就职于北京和隆优化科技股份有限公司, 主要研究方向为高级智能控制、优化控制、大系统协调。

倪万珀 (1973-), 男, 宁夏银川人, 高级工程师, 现就职于国家能源集团宁夏煤业有限责任公司, 主要研究方向为燃烧优化控制。

参考文献:

- [1] 张国民, 王彦飞, 李金. 煤粉锅炉负荷控制与燃烧优化技术研究与应用[J]. 自动化博览. 2021, 38 (5): 120 - 123.
- [2] 王月兰. 大型燃煤锅炉节能优化研究[D]. 浙江大学博士论文. 2017.
- [3] 耿平. 基于智能算法的燃煤电站锅炉经济运行与NO_x排放多目标优化研究[D]. 南昌大学硕士论文. 2016.
- [4] 沈利. 燃煤电站锅炉的燃烧优化技术及相关算法应用研究[D]. 浙江大学硕士论文. 2011.
- [5] 毛宇涵, 等. 基于预估控制和遗传算法优化的燃油蒸汽锅炉燃烧控制[J]. 热能动力工程, 2023 (3): 05 - 111.
- [6] 周俊杰, 房全国, 王定标. 基于MATLAB/Simulink的燃烧控制过程系统仿真[J]. 郑州大学学报, 2012 (33): 51 - 54.