

# 神经网络 PID 在烧结混合料水分控制中的应用

The application of neural network PID in Moisture control for sinter mixture

刘伟东

(北方工业大学机电工程学院自动化系, 北京 100144)

**[摘要]** 烧结混合料水分检测与自动控制在钢铁行业中一直是一个很难解决的问题。提出一种神经网络 PID 控制烧结混合料水分含量的控制方法, 可以实现随现场情况的变化自动整定寻找出最优 PID 3 个控制参数进行 PID 控制, 使烧结混合料水分含量的控制更加稳定精准。

**[关键词]** 神经网络; 辨识器; PID; 烧结混合料

**[中图分类号]** TP183 **[文献标识码]** B

## 引言

烧结混合料是由铁矿石、白云石、石灰石、生石灰、焦和煤五种原料和其他一些辅助原料组成的混合物在高温加热到半融化状态时, 进行冷却凝结成块而成, 烧结料的生产是高炉炼铁中不可或缺的一个重要环节之一。烧结料质量的好坏直接影响到高炉炼铁的成本和铁的质量。烧结混合料的含水量是决定烧结料质量的一个不可忽视又难以控制的问题。含水量过少容易形成干料的小粉粒, 其在抽风机的风力作用下易向下移动, 从下层料层的空隙中被风机抽走; 含水量过高时则易使混合料出现粘结, 妨碍物料流动和加大气流通道的阻力, 使得这一带的通气性变差。

目前, 大多数钢铁厂控制烧结料的水分含量采用人工操作, 存在危险性高、劳动量大、控制滞后、水分含量波动性较大等问题。若采用传统 PID 控制技术, 虽然可实现自动控制烧结混合料水分含量, 但 PID 3 个控制参数确定后, 不能根据现场的实际情况自动调整, 这样当现场某一原配料含水量变化时, 很难保证之前调整好的 PID 参数适合当前系统。神经网络作为智能控制的一个分支, 近年来发展迅速, 因为具有学习自适应能力, 非线性映射能力和并行信息处理能力, 所以在非线性控制领域, 越来越受到青睐。

本文提出神经网络 PID 控制, 既结合了 PID 良好的控制性, 又具有神经网络的自适应能力, 实验结果证明将两者结合在一起控制烧结混合料的水分含量更加稳定准确。

## 1 过程描述

烧结料的生产工艺是: 将原配料、燃料和添加剂按着一定的比例进行配料, 与矿返料混合后进行粗加水, 再次搅拌后细加水; 把经过两次加水的混合料均匀地平铺到烧结机上加热烧结, 烧结完成后, 放入冷藏室冷却, 最终放入高炉中进行炼铁。烧结料工艺流程见图 1。

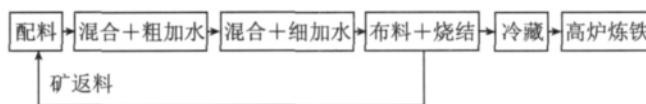


图1 烧结料生产过程流程图

烧结料水分含量有一个适宜的范围, 通常含水量保持在 6.5% ~ 7.5%, 但在烧结料的生产工厂里, 由于现场条件的复杂性, 包括各种混合料含水量受季节影响不稳定等因素, 人工控制烧结混合料的含水量很难保证其一直在此范围内。为了保证能及时准确地控制烧结混合料水分含量, 本文采用神经网络 PID 控制器, 与 BP 神经网络辨识器, 对随时可能发生变化的模型进行辨识, 不断寻找出最优 PID 控制参数, 满足及时准确地

控制烧结混合料水分含量的要求。烧结混合料水分含量控制方案框图见图 2。

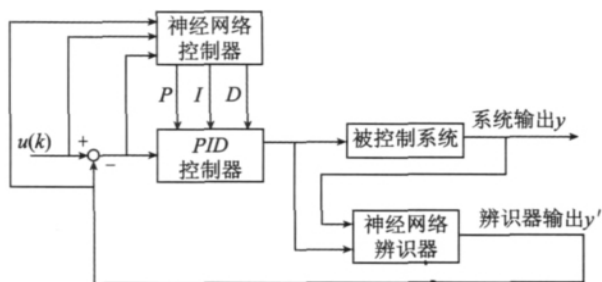


图 2 烧结混合料水分含量控制方案框图

## 2 神经网络 PID 控制器

1) 确定 BP 网络的结构，即确定输入层节点数和隐含层节点数，并给出各层加权系数的初始值，选定学习速率和动量因子。

本文输入层节点选 3 个，分别为输入量  $u(k)$ 、辨识器的输出量  $y'$ 、当前辨识输出与期望输出之差。输出节点为 PID 3 个控制参数。隐含层选取 5 个节点，隐含层节点的选取是按着在确保结果满足需要的精度基础上，最小的节点个数。各层间权值的初始值通常选取零值附近的数，为了节省运算时间和提高控制精度，也可以将运行几次后的权值作为权值系数的初始值。学习效率的选取：通常范围是在 0.1~0.5 之间，可以根据具体实验效果来确定，学习效率选取的越大达到预期的状态越快，但超调量较大，容易出现波动；反之需要时间较长，但较平稳。动量因子的引入是为了加速 BP 算法收敛，避免 BP 神经网络陷入局部极小点。

2) 采样得到给定值和辨识器输出值，计算出该时刻的误差。

3) 计算神经网络各层神经元的输入、输出，输出层的输出就是 PID 控制器的可调参数  $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$ 。

4) 根据经典增量式数字 PID 的控制算法计算 PID 控制器的输出量  $u(k)$ ：

$$u(k) = u(k-1) + K_p(\text{error}(k) - \text{error}(k-1)) + T_i \text{error}(k) + T_d(\text{error}(k) - 2\text{error}(k-1) + \text{error}(k-2))$$

其中， $u(k)$  为当前 PID 控制器的输出量， $u(k-1)$  为上次 PID 控制器的输出控制量， $\text{error}(k)$  为这次辨识输出与期望输出的误差， $\text{error}(k-1)$  为上

次辨识输出与期望输出的误差， $K_p$  代表比例， $T_i$  代表微分， $T_d$  代表积分。

5) 进行神经网络学习，在线调整加权系数，实现 PID 控制参数的自适应调整。

6) 设置  $k = k + 1$ ，返回 (1)。

## 3 神经网络辨识器

辨识器的作用是当不确定系统模型时，辨识器可以根据上一次的输入输出量预先预测出本次的输出量，以便提前做出调整与控制，使输出结果更接近期望值。神经网络具有自学习能力，所以可根据在线采集系统的输入输出量，进行学习训练，当误差达到要求范围以内时，将各个层的权值保留，预测本次系统的输出量。本文神经网络辨识器采用 3 层 BP 网络结构，输入层节点数 2 个，分别为 PID 控制器的输出与被控系统的输出；隐含层节点数为 6 个；输出层节点数为 1 个，即系统辨识的输出结构。

神经网络辨识器的设计步骤见图 3。

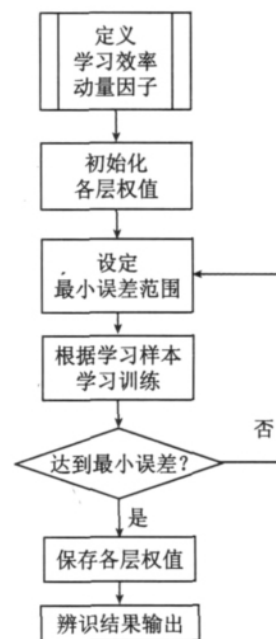


图 3 神经网络辨识器的设计流程图

## 4 仿真结果研究

结合高炉炼铁烧结料生产工艺的实际情况建立神经网络模型。烧结混合料含水量最适宜的范围为 6.5%~7.5%，取中间值 7.0% 作为系统的期望输出。通过 matlab 仿真，可以得出，当现场条件改变后，仍能及时准确地得到期望输出结果。

其仿真结果如图 4 ~ 图 7。

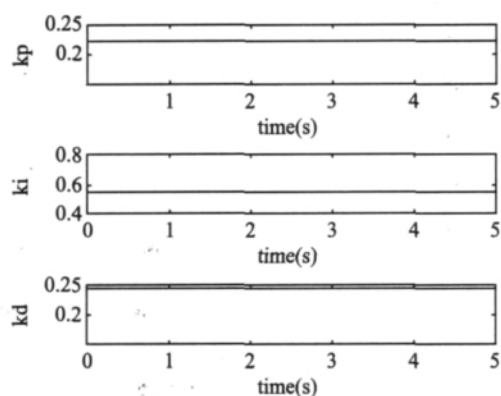


图 4 神经网络 PID 控制器的输出参数

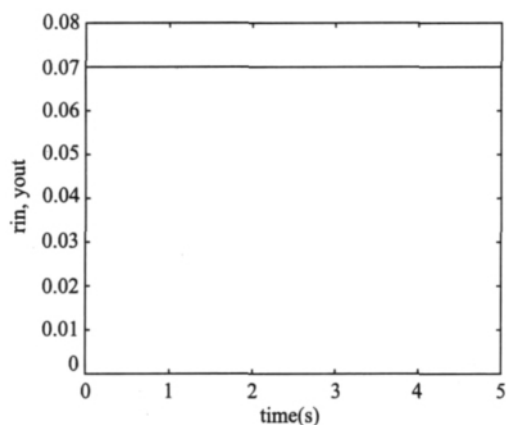


图 5 期望输出值与辨识器的输出值

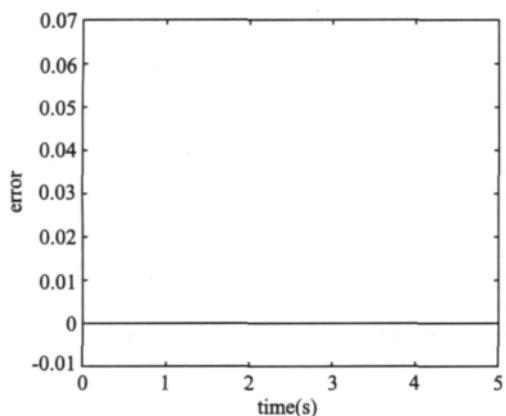


图 6 误差输出

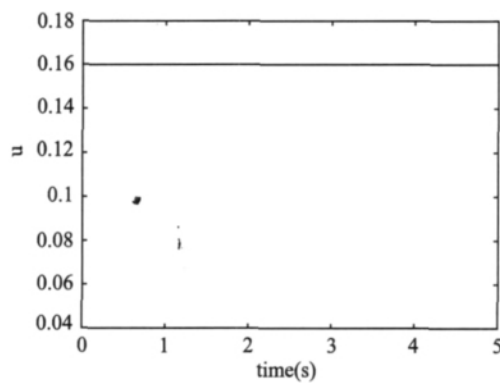


图 7 PID 控制器的输出

## 5 结束语

本文提出了烧结料水分控制的神经网络 PID 控制器和神经网络辨识器。神经网络 PID 控制器用于寻优找到最优的 PID 3 个控制参数；神经网络辨识器可对不确定的或变化的系统进行辨识，不断调整辨识器的学习样本，每次辨识的学习样本都是最近 100 次的系统实际输入输出，不断调整辨识器系统的权值，当误差范围达到要求范围时，辨识输出，得到当前系统的输出，从而进行前馈补偿，提高系统的控制精度与速度。

## 参考文献

- [1] 金伟. 复合式粉体水分仪及烧结混合料水分控制 [D]. 沈阳: 东北大学, 1995
- [2] 徐丽娜. 神经网络控制 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999. 12. 15
- [3] 姜长生. 王从庆. 魏海坤. 陈 谋. 智能控制与应用 北京: 科学出版社 2007. 7
- [4] 刘金坤. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社 (第二版), 2006, 155 ~ 163
- [5] 温良. 付兴武. 神经网络 PID 在温度控制系统中的应用与研究 [J]. 微计算机信息, 2004, (7): 3 ~ 4
- [6] 刘迪. 赵建华. 一种基于 BP 神经网络网络模型的自适应 PID 控制算法 [J]. 自动化技术与应用, 2008, 27 (8): 4 ~ 7