

两种转炉炼钢终点控制模型的比较

郑 忠¹ 史战东¹ 高小强² 代有训¹

(1 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045; 2 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044)

摘 要 分析了转炉炼钢静态控制与动态控制模型的方法、作用及功能关系。针对中小型炼钢转炉检测设备受限制的现状,从建模原理、方法特点和应用效果方面对建立的基于遗传算法-神经网络混合算法(GA-BP)的转炉炼钢终点优化控制静态模型和转炉炼钢终点预测的准动态控制模型进行了比较,认为混合算法可以提高静态模型的预测效果,而准动态模型可以反映转炉冶炼的动态操作和加料过程对一次倒炉时间和终点的影响。

关键词 转炉炼钢 终点控制 BP 神经网络 遗传算法

A Comparison between Two Models for Controlling End-point of Converter Steelmaking

Zheng Zhong¹, Shi Zhandong¹, Gao Xiaoqiang² and Dai Youxun¹

(1 College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045;
2 College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract Method, effect and function relation of static model and dynamic model for controlling end-point of converter steelmaking have been analyzed. According to the handicapped present situation of sensor for medium and small size converters, the comparison between optimal static model based on established GA-BP hybrid algorithm for predicting end-point of converter steelmaking and quasi-dynamic control model for predicting end-point of converter steelmaking has been compared from modeling principle, methodology and application effect. It is believed that prediction effect of a static model may be improved with GA-BP hybrid algorithm and the quasi-dynamic control model can reflect dynamic operation and the influence of operation in melting and charging process on first turndown time and end-point of converter steelmaking.

Material Index Converter Steelmaking, End-point Controlling, BP Neural Network, Genetic Algorithm

1 转炉终点控制模型的作用与发展

终点控制主要是指对终点钢水碳含量和温度的控制^[1]。随着转炉装备水平的进步,转炉终点控制技术也经历了经验控制、静态控制、动态控制和全自动吹炼控制 4 个发展阶段^[2]。对碳含量而言,控制过高不利脱磷、脱硫,控制过低又会显著增加氧、氮含量;而温度的合理控制更是后续工序执行的保障。

转炉吹炼控制模型主要有静态控制模型和动态控制模型两类。动态控制模型根据检测方式主要有基于副枪或基于炉气分析的不同模型^[3,4]。相对于静态控制模型,采用动态控制模型的转炉终点命中率有明显提高,如武钢三炼钢采用了副枪动态控制系统,通过对转炉静态模型参数和动态模型参数的优化调整,转炉终点命中率(控制精度为 $[C] \pm 0.01\%$ 、 $T \pm 12\text{ }^\circ\text{C}$)由开始的 42.6% 提高到 2001 年的平均 93.1%;马钢采用烟气分析动态炼钢技术,转炉终点命中率由 10% 跃升到 92.9%^[5]。

近年来,一些基于人工智能技术特别是神经网络或其结合算法的预测控制方法被广泛应用到转炉冶炼过程的控制和优化中^[6,7]。基于人工智能方法

的转炉终点控制模型已成为终点控制技术发展的一个重要方向^[3]。

2 基于人工智能技术的转炉炼钢终点控制模型

2.1 转炉炼钢终点控制智能模型原理

针对中小转炉采用副枪等使检测条件受限问题,建立了基于 GA-BP 混合算法的转炉终点预测与优化控制模型^[8]和转炉终点预测的准动态控制模型^[9](图 1)。在 GA-BP 终点控制模型中构建了一种用遗传算法来加速 BP 神经网络学习过程、优化网络结构和参数的混合算法,以提高综合遗传算法的全局优化能力和 BP 神经网络的快速收敛能力。

以提高中小型转炉在检测手段受限情况下的一次倒炉熔池成分和温度命中率,减少倒炉次数、提高转炉控制水平为目标建立准动态控制模型,根据炉次计划和入炉的历史数据,以及在冶炼过程操作和加料的实时信息,建立不同时刻的主原料和辅料的加入信息和加入模式、吹炼模式、供氧模式与一次倒炉熔池成分、温度以及一次倒炉时间之间的关系,在吹炼过程中依据冶炼初始条件和当前冶炼进度,采用了引入验证样本的改进 BP 算法和 GA-BP 算法,

定时对一次倒炉熔池成分、温度和一次倒炉时间做出适时预测。

2.2 模型的应用

2.2.1 基于 GA-BP 算法的模型预测

选用 2004 年攀钢 1# 转炉“低拉增碳”炼钢工艺下的生产数据记录,对基于 GA-BP 的终点控制静态模型进行应用测试,训练误差 $e = 0.001$,作为检验样本的 100 条冶炼记录数据不参与模型训练。为了比较训练样本数对预测结果(即神经网络泛化能力)的影响,选择训练样本数为 1 000 的训练样本集,在 $[C] \pm 0.02\%$ 、 $T \pm 15\text{ }^\circ\text{C}$ 的情况下,碳和温度的命中率分别为 94% 和 96%,碳和温度同时命中率为 92%。另选用 100、500、1 000、2 000 的不同样本数并比较了单纯 BP 算法(在训练过程根据对样本集的输出误差总效果进行权值调节)与 GA-BP 混合算法(对样本群体随机分组,随机选择个体用 BP 进行局部寻优)的碳和温度同时命中率预测效果(如表 1)。

当训练样本数为 1 000 时,模型具有最高的预测命中率,其神经网络泛化能力最强;一定范围内,随

表 1 不同学习样本和算法下预测的碳和温度同时命中率/%

Table 1 End-point target-hitting ratio for carbon and temperature with different algorithms and different learning samples / %

样本数	BP 算法	GA-BP 混合算法
100	62	67
500	68	75
1 000	81	92
2 000	-	85

训练样本数增加,神经网络对系统的拟合程度也逐渐加强,模型预测能力有所增加;但当训练样本数增加到 2 000 时,碳和温度同时命中率不但没有增加反而略有降低,经分析为由于过多的训练样本有可能造成了训练神经网络的“过拟合”状态,导致了神经网络的泛化能力的降低。混合遗传算法通过对网络权值的调整,改善了模型的预测效果。

2.2.2 基于准动态模型的预测

针对 BP 神经网络容易陷入局部最优与“过拟合”等问题,采用了引入验证样本的改进 BP 神经网络学习

算法,以及引入验证样本的改进 GA-BP 混合学习算法。对 BP 神经网络以及遗传算法的各种组合算法的对比数值试验表明,引入验证样本的学习算法能有效地改善神经网络模型的泛化能力;基于 GA-BP 混合学习算法的人工神经网络预测模型在预测命中率和学习效率等方面具有较好的性能。

模型针对攀钢 1# 转炉的 Stb32 为主的系列钢种冶炼的 416 炉数据,并将数据分成训练集、验证集和测试集 3 部分。每隔 1 min 对冶炼过程第 6 ~ 20 min 分别构建模型,并用 62 炉数据进行离线预测。筛选出的过程数据一次倒炉时的温度范围为 $1\ 640 \sim 1\ 720\text{ }^\circ\text{C}$,碳的范围为 $0.03\% \sim 0.25\%$,在预报精度为一次倒炉温度 $\leq 15\text{ }^\circ\text{C}$ 、一次倒炉碳含量 $\leq 0.02\%$ 、一次倒炉时间 $\leq 1\text{ min}$ 的情况下,模型一次倒炉时的熔池碳、温度双命中率和一次倒炉时间

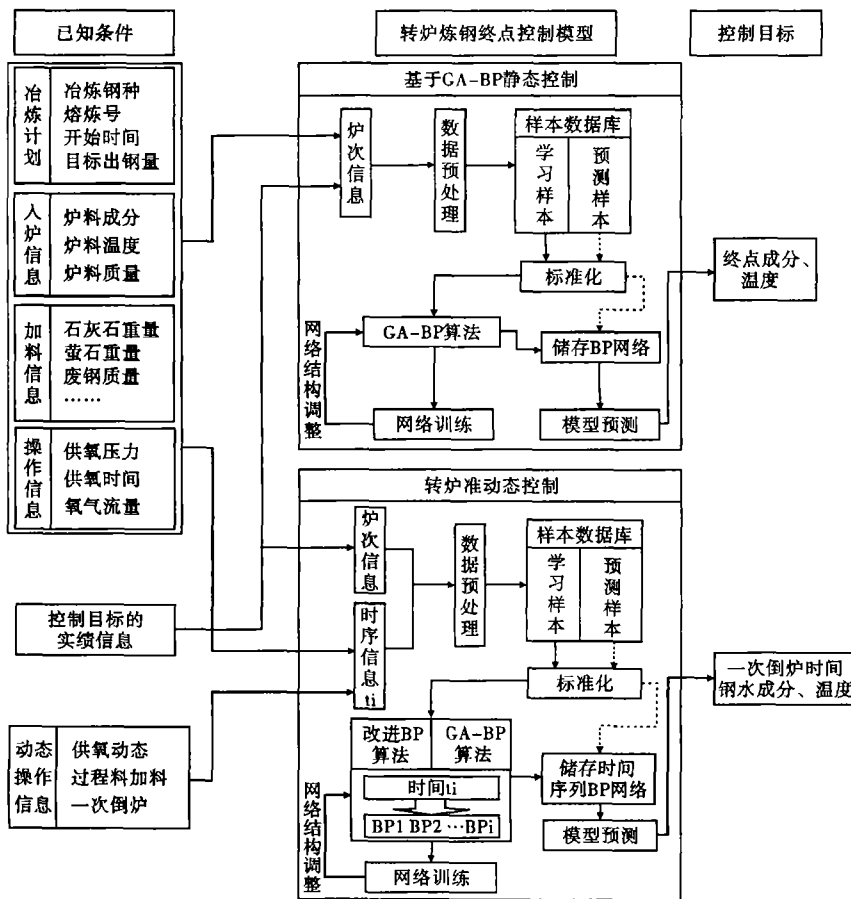


图 1 两种智能模型的原理及比较

Fig. 1 Principle and comparison of two artificial intelligence model

一致率平均值达到了 43.0% 和 80.1%, 比人工一次倒炉合格率高出约 6.7%, 同时模型预测的一次倒炉时间与人工一次倒炉时间的一致率达到 78.2%。

2.3 模型比较分析

2.3.1 炼钢终点控制模型的预测与控制目标

(1) 基于 GA-BP 混合算法的静态转炉终点优化控制模型可以较准确预测终点碳和终点温度, 还可以获得以终点碳和终点温度作为优化目标的吹氧时间、全炉时间、石灰石加入量、萤石加入量、废钢质量等优化工艺参数。

(2) 适应中小转炉的准动态终点控制模型可以较准确预测一次倒炉的终点碳、终点温度和一次倒炉时间, 并提供吹炼模式、供氧模式、原料和辅料加入模式的标准化操作参考。

2.3.2 模型输入条件与模型特点

(1) 基于 GA-BP 算法的模型输入主要包括计划、原料、加料与操作, 以及冶炼后的炉次生产实绩。其特点是利用 BP 神经网络建立转炉吹炼过程的黑箱模型, 忽略冶炼过程中具体的物理化学作用和加入时刻对终点的影响, 只考虑系统的输入和输出, 通过网络结构来表达输入与输出之间的映射关系。模型采用单一的神经网络模型, 通过训练确定网络结构参数, 进而用于转炉终点的预测, GA-BP 混合算法可加速网络的学习效率, 优化模型参数, 改进模型预测效果, 并优化加料和操作参数。

(2) 准动态控制模型的输入除包括转炉各炉次的静态计划和原料基本信息外, 还将与时间因素有关的加料信息与操作信息等动态因素, 以加料模式、吹炼模式、供氧模式等与一次倒炉熔池成分、温度以及一次倒炉时间之间建立联系, 一并作为模型的输入。它具有一定的动态模型特征。在吹炼过程中, 依据冶炼初始条件和当前冶炼进度定时对一次倒炉熔池成分、温度和一次倒炉时间多次定时做出预测, 间接为操作人员提供熔池信息, 辅助操作人员对吹炼参数进行修正, 减少倒炉次数, 提高一次倒炉合格率。

模型通过冶炼时间的不同, 构建出一个神经网络群, 对转炉在各个冶炼时刻进行动态的控制。将转炉从吹炼开始到一次倒炉结束的过程按等间隔时间(如 1 min 或 30 s 等)进行离散化, 这样整个吹炼周期可划分为从吹炼开始到 t_0, t_1, \dots, t_n 时刻对应的 $n+1$ 个时间段, 其中, $t_{n-1} \leq t_{nmax} \leq t_n$ 。在上述划分下, 通过对转炉过程动态信息(主要是操作参数)在每个时间段内进行模式量化, 得到每个时间段的操作模式, 如原料和辅料加入模式、吹氧模式等。对应

于 $t_i (i=0, 1, 2, \dots, n)$ 时刻, 用该钢种冶炼的历史数据建立一个 BP 神经网络模型 $BP_i (i=0, 1, 2, \dots, n)$, BP_i 的输入为转炉初始加入的铁水和半钢的温度、成分和重量, t_i 时刻前的吹炼模式、供氧模式、原料和辅料加入模式; BP_i 的输出为一次倒炉熔池碳、一次倒炉熔池温度, 以及一次倒炉时间。

综合以上对建立的两种转炉终点控制智能模型的原理、方法、应用及模型特点等的分析比较, 可以看出在不增加转炉检测手段等硬件投资情况下, 利用基于 BP 神经网络和 GA-BP 混合算法的终点控制与工艺参数优化模型, 可以进行炼钢终点的预测与操作优化, 获得比人工经验控制更准确的效果; 但预测精度明显受模型数据样本数量和质量的影响。

3 结语

(1) 随着转炉装备水平的进步, 基于人工智能尤其是神经网络技术的模型方法成为转炉终点控制技术的主流; 动态控制已成为转炉炼钢技术发展的必然趋势。然而作为转炉动态控制基础的静态模型及其质量对转炉控制水平有重要影响。

(2) 优化的混合算法可提高静态模型的预测效果, 而准动态模型可反映转炉冶炼过程的动态操作和加料过程对一次倒炉时间、终点碳和温度的影响。

(3) 如何借鉴并引入转炉炼钢工艺理论和经验, 实现机理与数据建模方法的有机结合, 以改进现有数据建模方法对数据信息的过分依赖性, 将是进一步提升模型预测效果的可能途径。

参考文献

- 1 陈家祥. 钢铁冶金学(炼钢部分). 北京: 冶金工业出版社, 1999
- 2 刘 浏. 转炉全自动吹炼技术. 冶金自动化, 1999, 23(4): 1
- 3 陶 钧, 谢书明, 柴天佑. 转炉炼钢控制模型的发展与展望. 钢铁, 1999, 34(8): 69
- 4 张 鉴, 佟福生, 成国光. 终点碳控制的现状和前景. 特殊钢, 1995, 16(4): 1
- 5 全 红. 转炉炼钢动态控制技术. 云南冶金, 2006, 35(3): 31
- 6 Cox I J, Lewis R W, Ransing R S, et al. Application of Neural Computing in Basic Oxygen Steel-making. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120: 310
- 7 丁 容, 刘 浏. 转炉炼钢过程人工智能静态控制模型. 钢铁, 1997, 32(1): 22
- 8 张 琳. 基于 GA-BP 混合算法的转炉终点优化控制模型: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2004
- 9 代有训. 转炉炼钢终点准动态控制系统研究: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2007

郑 忠(1963-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 冶金过程动态控制与复杂系统的仿真。

收稿日期: 2008-05-12