

文章编号: 1000-8152(2008)04-0791-03

## 基于灰色神经网络的烧结矿碱度组合预测

鲍雅萍<sup>1</sup>, 马金元<sup>2</sup>, 宋强<sup>1</sup>

(1. 安阳工学院 机械工程系, 河南 安阳 455000; 2. 安阳工学院 电子信息与电气工程系, 河南 安阳 455000)

**摘要:** 针对钢铁生产过程中烧结矿碱度检测的难题, 利用灰色预测的GM(1, 1)模型与BP神经网络进行组合, 建立了灰色神经网络的烧结矿碱度组合预测模型, 选取10个与矿碱度有关的输入变量, 对这些变量分别进行灰色GM(1, 1)预估, 再进行BP神经网络预测, 获得烧结矿碱度预测结果, 仿真结果的相对误差小于0.005%.

**关键词:** 灰色模型; 神经网络; 组合预测模型; 烧结矿; 碱度

**中图分类号:** TP273      **文献标识码:** A

## Combination forecasting of sintered ore alkalinity based on grey neural network

BAO Ya-ping<sup>1</sup>, MA Jin-yuan<sup>2</sup>, SONG Qiang<sup>1</sup>

(1. Department of Mechanical Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang Henan 455000, China;

2. Department of Electrical Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang Henan 455000, China)

**Abstract:** To predict the alkalinity of sintered ore accurately in sintered process, a combination grey neural network forecasting model of grey neural network is proposed by combining the grey model GM(1, 1) with BP (Back Propagation) neural network. Ten factors relating with the sintered ore alkalinity are selected as the input variables. These variables are estimated on grey model GM(1, 1) respectively and the alkalinity of sintered ore is forecasted on BP neural network based on all of these estimated data. The results of simulation show that the relative error is less than 0.005%.

**Key words:** grey model; neural network; combination forecasting model; sintered ore; alkalinity

### 1 引言(Introduction)

钢铁生产中, 烧结矿决策控制一直是一大难点问题, 尤其是碱度控制. 由于烧结过程是一个复杂的物理、化学过程, 机理复杂、高度非线性、强耦合、纯滞后大, 难以建立精确的数学模型. 因此, 有必要建立烧结矿碱度预测模型, 为烧结矿决策控制提供参考依据.

预测研究大致可以分为两类: 一是采用单一方法预测, 如神经网络模型<sup>[1]</sup>、灰色预测模型<sup>[2]</sup>; 二是采用组合模型预测, 如非线性回归与灰色预测优化组合构成的预测模型<sup>[3]</sup>、灰色预测与神经网络结合形成的灰色神经网络组合预测模型<sup>[4]</sup>. 文献[1]将神经网络应用于烧结矿质量预测, 解决了实时性问题, 但由于单一模型的局限性, 其预测精度不高. 灰色神经网络模型兼有灰色预测和BP神经网络预测的优点, 能够在少样本情况下达到较高精度.

本文将从影响烧结矿碱度的众多因素中选取10个主要因素作为输入变量, 根据组合预测理论, 将

灰色GM(1, 1)预测模型与神经网络预测模型有机结合, 建立灰色神经网络组合预测模型, 对烧结矿碱度进行模拟和预测, 并与单纯灰色GM(1, 1)预测模型与神经网络预测模型进行比较.

### 2 灰色神经网络模型的建立(Grey neural network modeling)

灰色预测方法和传统的统计预测方法相比有着较多的优点, 它不需要确定预测变量是否服从正态分布, 具有所需要的样本数据少、原理简单、运算方便、易于检验、短期预测精度高等优点. BP神经网络可逼近任意复杂的非线性函数, 具有并行计算、容错能力强、自适应能力强等优点, 但存在黑箱的弱点, 只考虑输入和输出, 而忽视了系统某些可用的确定性信息, 可用信息利用率低、计算量大、收敛速度慢.

结合GM模型和神经网络的优点, 建立组合模型, 使得模型同时具有两者的优点, 即所需建模数据

少,计算速度快和BP神经网络强大的非线性拟合能力并行计算、容错能力强、自适应能力强等,从而在少样本情况下达到较高精度.灰色神经网络组合模型的结构如图1所示.首先对10个输入变量分别

进行灰色GM(1,1)预测,获得10个预测变量;然后,把10个GM(1,1)预测变量作为(10×17×1)BP神经网络的10个输入变量,进行BP神经网络预测,获得烧结矿碱度预测结果.

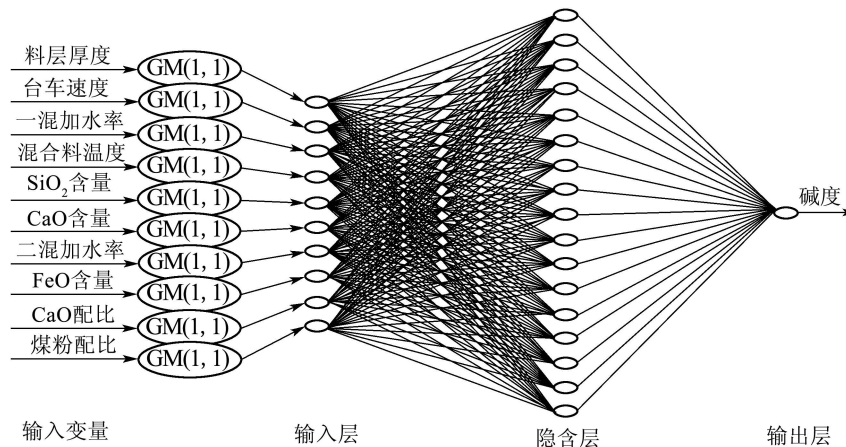


图1 灰色神经网络结构图

Fig. 1 Structural diagram of grey neural network

灰色神经网络组合模型的建模步骤如下:

**步骤1** 输入原始数据资料;

**步骤2** 应用灰色GM(1,1)模型进行预测,得到预测序列;

**步骤3** 以GM(1,1)预测序列为BP神经网络的输入向量,以研究指标碱度的实际化验值为BP神经网络的输出期望值,对BP神经网络进行训练,得到相应的权值和阈值;

**步骤4** 输入需要预测的数据序列,即可得到具有相当精度的短期预测量.

### 3 仿真结果及分析(Result and analysis of simulation)

#### 3.1 训练样本的选取(Selection of training samples)

1) 输入向量: 在烧结生产的整个工艺流程中,影响烧结矿碱度的因素很多,综合其中的主要因素,选取10个变量形成灰色神经网络的输入向量,它们分别是: ① 料层厚度; ② 台车速度; ③ 一混加水率; ④ 混合料温度; ⑤ 混均矿中的SiO<sub>2</sub>含量; ⑥ 混均矿中的CaO含量; ⑦ 二混加水率; ⑧ 混均矿中的FeO含量; ⑨ CaO配比; ⑩ 煤粉配比.

2) 样本数据: 根据安阳钢铁公司烧结厂2004年3月1日~3月31日的实际生产记录,从56组数据中选取了控制效果较好的48组数据,其中前38组数据作为训练样本数据,后10组数据作为测试样本数据.为了便于灰色神经网络学习,将实际数据进行了归一化处理,根据最大最小值,将实际物理

量分别划为[0, 1]区间的数值.

用MATLAB编写灰色GM(1,1)模型和10×17×1BP神经网络模型的程序,预测精度为0.01,最大训练次数为10000次.首先利用训练样本数据对组合模型进行拟合,然后再根据拟合的结果,利用测试样本数据预测烧结矿碱度,与已有烧结矿碱度实际值相比较,验证组合模型的短期预测精度.

#### 3.2 网络训练(Training on network)

采用灰色神经网络学习算法,用45组训练样本数据进行网络训练,精度设定为误差平方和不大于10<sup>-4</sup>.用训练样本数据进行网络模拟,绝对误差曲线如图2所示.

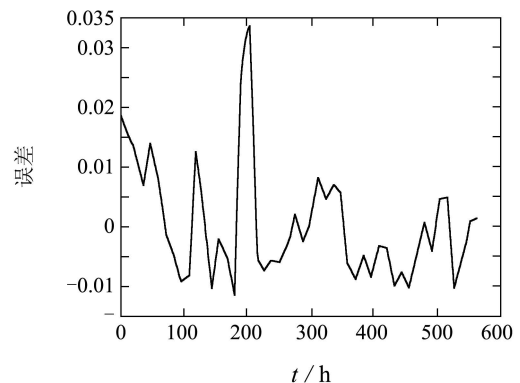


图2 灰色神经网络预测误差曲线

Fig. 2 Forecasting error curve of grey neural network

#### 3.3 模型检验(Model test)

用该模型对10组测试样本进行预测,并与实际

值、灰色GM(1,1)模型预测值、BP神经网络预测值进行比较, 结果见表1.

由表1结果可知, 单一的灰色GM(1,1)模型预测精度最差, BP神经网络预测精度一般, 而灰色GM(1,1)与BP神经网络组合模型, 预测精度最

好, 平均相对误差分别由原来的2.48%, 0.0302%减小到0.00408%. 对碱度实际值与预测值比较, 发现: 当相对误差 $\leq 0.01\%$ 时, 命中率为50%; 当相对误差 $\leq 0.02\%$ 时, 命中率为90%; 当相对误差 $\leq 0.05\%$ 时, 命中率为99.9%.

表 1 模型检验  
Table 1 Model test

序号	实际值	灰色GM(1,1)		BP神经网络		灰色神经网络	
		预测值	相对误差/%	预测值	相对误差/%	预测值	相对误差/%
1	1.7602	1.6911	-3.9257	1.7595	-0.039768	1.7599	-0.017044
2	1.7421	1.6552	-4.9883	1.7365	-0.32145	1.7419	-0.011480
3	1.7381	1.8204	4.7351	1.7408	0.15534	1.7375	-0.034520
4	1.7142	1.8168	5.9853	1.7124	-0.10501	1.7142	0
5	1.7289	1.8131	4.8701	1.7298	0.052056	1.7288	-0.0057840
6	1.7232	1.8065	4.8340	1.725	0.10446	1.7231	-0.0058032
7	1.7164	1.8057	5.2027	1.7212	0.27966	1.7165	0.0058261
8	1.7122	1.8023	5.2622	1.713	0.046724	1.7121	-0.0058404
9	1.7819	1.7982	0.91475	1.7832	0.072956	1.7822	0.016836
10	1.7608	1.7936	1.8628	1.7618	0.056792	1.7611	0.017038

模型	灰色GM(1,1)	BP神经网络	灰色神经网络
平均相对误差/%	2.48	0.0302	-0.00408
标准偏差/%	3.99	0.161	0.0155
预测精度	低	中	高

#### 4 结论(Conclusion)

本文将灰色系统理论的GM(1,1)模型与BP神经网络相融合, 建立了灰色神经网络组合模型, 利用该模型对烧结矿碱度进行了模拟和预测.

1) 对10个输入变量分别进行灰色GM(1,1)预测, 获得10个预测变量. 灰色预测所需信息少、方法简单, 能够弱化数据的随机性, 累加数据的规律性;

2) 把10个GM(1,1)预测变量作为(10 × 17 × 1)BP神经网络的输入变量, 进行BP神经网络预测, 获得烧结矿碱度预测结果. 神经网络具有较强的非线性映射能力和良好的容错性、自组织、自适应等特性.

仿真结果显示, 组合模型预测精度明显优于灰色GM(1,1)模型和BP神经网络的预测结果, 可以作为未来烧结矿碱度预测的有效工具.

#### 参考文献(References):

[1] 刘怀. 用BP网络模型对烧结矿质量预测[J]. 有色矿山, 1999, 5(5): 41-44  
(LIU Huai. Using BP networking module to forecast quality of sintered ore[J]. *Nonferrous Mines*, 1999, 5(5): 41-44.)

[2] 孙才新, 毕为民, 等. 灰色预测参数模型新模式及其在电气绝缘故

障预测中的应用[J]. 控制理论与应用, 2003, 20(5): 788-801.  
(SUN Caixin, BI Weimin, et al. New grey prediction parameter model and its application in electrical insulation fault prediction[J]. *Control Theory & Applications*, 2003, 20(5): 788-801.)

[3] 邢棉. 能源发展趋势的非线性优化组合预测模型研究[J]. 华北电力大学学报, 2002, 29(3): 64-67.  
(XING Mian. Researches on forecasting model of energy development tendency based on nonlinear combined optimization[J]. *Journal of North China Electric Power University*, 2002, 29(3): 64-67.)

[4] 史雪荣, 王作雷, 王钟羨. GM(1,1)模型参数的神经网络算法[J]. 数学的实践与认识, 2006, 4(4): 126-129.  
(SHI Xuerong, WANG Zuolei, WANG Zhongxian. Neural network method to estimate parameter of GM(1,1) model[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2006, 4(4): 126-129.)

#### 作者简介:

**鲍雅萍** (1966—), 女, 2002年获得北京理工大学控制理论与控制工程硕士学位, 现为安阳工学院机械工程系副教授, 研究方向为智能控制、过程控制, E-mail: aydxbyp@sohu.com;

**马金元** (1966—), 男, 2001年获得北京理工大学检测技术与自动化装置硕士学位, 现为安阳工学院电子信息与电气工程系副教授, 研究方向为检测与控制, E-mail: ma\_jy2002@yahoo.com.cn;

**宋强** (1974—), 男, 昆明理工大学工学硕士, 现为安阳工学院机械工程系讲师, 研究方向为智能控制理论、支持向量机和粗糙集的研究.