

基于BP算法的水泥配料调优操作模型^{*}

方千山^① 马 荣^②

(① 华侨大学电气技术系, 泉州 362011; ② 福建省环保局, 福州 350001)

摘要 借助BP算法, 对水泥原料化学成分的关联参数进行研究, 建立起能较好地预估水泥质量状态下的神经网络, 以达到配料方法的调优操作。

关键词 配料, BP算法, 调优操作, 模型

分类号 TQ 172.614.1; TP 273

调优操作的产生和应用已有20多年的历史, 它是当今世界上被广泛应用的一种提高工业生产率和产品质量的一门实用技术。目前流行的调优操作主要有三大类^[1]: (1) 以数理统计为依据的统计调优方法(EVOP法); (2) 以模糊数学为基础的模式识别法(PR法); (3) 过程模拟为主体的操作模拟分析法(OSA法)及其改进方法——装置模拟优化法(PSO法)。这些方法在化工过程调优中已得到广泛的应用, 并取得了显著的经济效果, 但在水泥工业的应用上, 目前国内外的期刊尚未见到报道。本文提出一种基于人工神经网络的反向传输算法(Back-Propagation)。它通过对网络的权系数进行在线调整, 使网络经学习、记忆, 调整水泥配料的最优操作变量, 建立预估水泥质量品质的调优操作模型。

1 水泥配料基本原则

水泥生产过程是个极其复杂的化学反应过程。它从原料配料(生料)的均化预热、入窑, 并在窑内与热气流进行逆流式热交换, 直至锻烧、分解、冷却成熟料的整个过程的化学反应, 很难用精确的方程式予以描述和建立。同时, 所加入原料(石灰石, 粘土, 石膏, 铁粉等)的化学成分其含量波动性大, 且又是个大滞后的控制方式。因此, 其质量控制难以达到令人满意的效果。

一般对入窑原料(生料)的质量在化学方面有两个要求^[1]: (1) 生料的化学成分符合规定的各项率值; (2) 这些率值只允许围绕其目标值在一定范围内波动, 即其化学成分要均匀。前者可通过配料实现, 后者则通过工艺手段实现。因此, 在工艺确定的情况下, 需严格按化学成分要求进行配料, 这是现代水泥生产的特征。对现代水泥生产中, 把好配料环节至关重要。如果没有精确的配料, 其均化后的生料不一定能符合目标值的要求, 也就不能得到要求的水泥质量。

水泥生产自人工配料以来, 所用的配料方法很多, 其中最典型的有率值配料法、误差法、试凑法、普通代数法等^[1]。这些方法的本质所在, 都是企图找出 SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 各个质量

分数(w) 的最佳值.

所谓配料, 它要求所出的各种原料都能被认可, 即具有唯一性的配比. 而目前人们所能做到的只是在发现偏离时, 及时调整配料称, 使其尽快恢复到目标值上. 这就需要尽可能频繁地对出磨生料进行取样和分析, 并将分析结果及时反馈以控制配料称. 在这期间, 原料从入磨到出磨需要十多分钟, 生料入窑到出窑成为熟料又需要 2 ~ 3 h; 把熟料磨成水泥并做成试样检验, 要过 28 d. 长时间的滞后, 等发现质量问题后再行调整、修正配比……直至找出最佳方案. 这种反复积累方案的难度很大, 因而谈不上质量控制.

近年来, 人们采用生料微机配料控制系统, 以提高配料的精确度和生料出磨的合格率. 微机配料具有稳定、直观、易调、快速运算等优点^[1], 但对于后期过程中熟料的成分分析、判断及反馈控制却束手无策. 表 1、2 为某水泥厂的综合日报表. 表中 L 表示烧失量, P_c 表示熟料抗压强度, P_A 表示 A 组出磨水泥抗压强度, P_B 表示 B 组出磨水泥抗压强度, t 表示时间. 从中不难看出, 化学成分的复杂性和大滞后控制是很难预料和判断的. 为此, 我们必需找出影响水泥质量的主要因素进行调优研究, 适时地调整配比参数, 建立合适的配料调优模型, 以达到产品质量的最佳状况.

表 1 综合日报表

材 料	L	w_{SiO_2}	$w_{Al_2O_3}$	$w_{Fe_2O_3}$	w_{CaO}	w_{MgO}	$w_{总}$
石灰石		0.222 7	0.023 9	0.033 9	0.347 9	0.050 6	0.649 5
粘 土		0.357 3	0.118 2	0.013 4	0.117 2	0.045 7	0.652 0
石 膏							
铁 粉				0.550 6			
生 料	0.361 2	0.118 8	0.038 1	0.031 8	0.433 6	0.004 5	0.988 2
熟 料	0.050 0	0.203 3	0.065 1	0.049 1	0.659 3	0.009 2	0.9902 0
材 料	w_{C_2S}	w_{C_3S}	w_{C_3A}	w_{C_4AF}	w_{SO_3}	w_N	w_P
石灰石							
粘 土							
石 膏					0.055 7		
铁 粉							
生 料				0.011 4		0.013 2	
熟 料	0.044 4	0.611 2	0.087 7	0.134 4		0.021 3	0.013 9

表 2 样品检验报告

t/d	样 号	P_c/MPa	样 号	P_A/MPa	样 号	P_B/MPa
3	960817	25.9	960818	26.0	960818	22.7
28	960723	67.7	960724	53.7	960724	72.8

2 人工神经网络

人工神经网络是通过许多简单的关系连接来表示复杂的函数关系的, 通过大量简单关系的组合, 就可实现复杂的分类和决策功能. 神经网络可以通过训练获得给定的经验, 从大量的

数据中找到特定的模式,并据此生成映射规则来辨别因果关系^[6]。因此,它在过程控制及自动化领域得以广泛的应用。BP 网络(Back-Propagation)是一种采用误差反向传播算法,进行有导师训练的前馈多层神经元网络,其模型结构如图 1 所示。它由输入层、隐含层和输出层所构成,模型中每一个中间层神经元如图 2 所示。BP 算法是一种梯度下降迭代算法,取其网络的实际输出和期望输出间的误差平方和最小为目标。

对应于 BP 模型的输出表达式为

$$U_i^k = \sum_j W_{ij} V_j^{k-1} + \theta, \\ V_i^k = f(U_i^k),$$

式中 W_{ij} 为权系数, θ 为阈值, V_i^k 为实际输出。BP 网络的学习过程,如图 3 所示。下面介绍其训练步骤。(1) 随机设置所有权。(2) 提供输入与实际输出值。(3) 正向传播。输入信号从输入层经隐含层单元逐层处理,并传向输出层的计算过程。(4) 反向传播。如果输出层不能得到期望的输出,则输入正向传播,将误差信号沿原来的连接路返回,其误差为 $r = \frac{1}{2} \sum_j (V_j^m - y_j)^2$, 式中 V_j 为实际输出, y_j 为期望输出。引入动量因子 α 和学习率 ϵ , 以最快下降法运算, 即

$$\Delta W_{ij} = - \epsilon \frac{\partial r}{\partial W_{ij}} \\ = - \epsilon d_i^k V_j^{k-1}, \\ \Delta W_{ij}(t+1) = - \epsilon d_i^k V_j^{k-1} + \alpha \Delta W_{ij}(t)$$

为加速权值收敛。(5) 不断修改各层神经元的权值,重复(3),(4)的步骤,直至误差信号为最小(即满足收敛要求)为止。

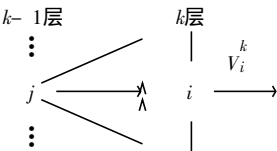


图2 一个中间层神经元示意图

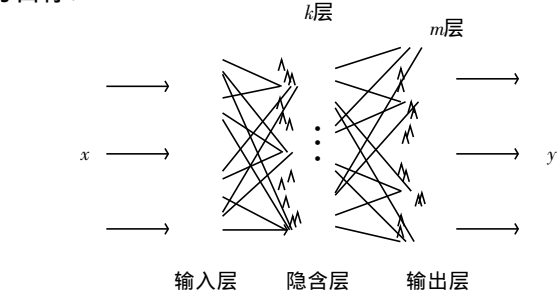


图1 一个BP模型结构

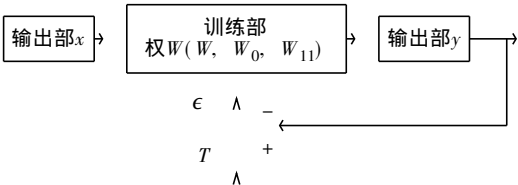


图3 BP网络学习过程示意图

3 模型输出与误差

在本模型中,我们采用一个 3 层 BP 网络,从历史记录中选择 30 组较有代表性的质量分析的综合参数,作为网络的学习样本。把它输入到模型中进行学习训练。经过不断的权值修正,使学习模型的输出达到令人满意的效果。图 4(a), (b) 表示入窑生料率值(W)和已经过 28 d 检验的水泥抗压强度(P),它们的 BP 模型在不同样品条件下输出与实际报表值的比较曲线。实验证明误差值分别小于 0.3 MPa 和 0.001,它们完全能实现对水泥质量的预估和配料的优化操作。

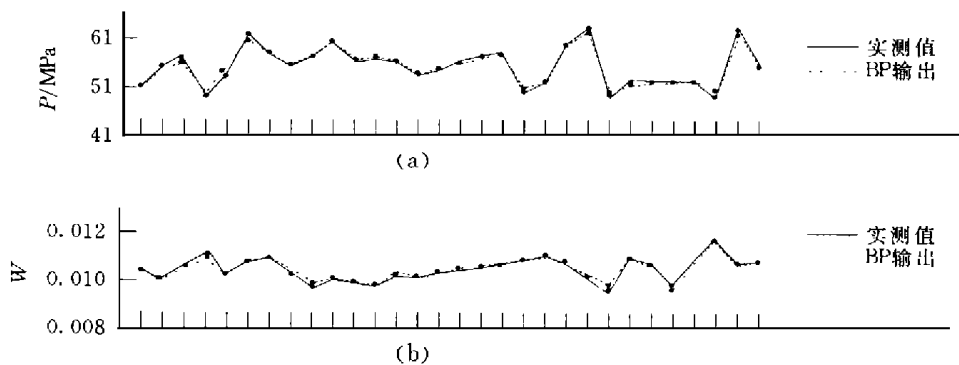


图4 BP模型的输出与实测值的比较

4 结束语

水泥生产的复杂的化学过程,属于多变量、纯滞后的质量检验和方法控制,在缺乏系统有关先验知识的情况下,采用传统的配料调优方法和手段是很难凑效的.人工神经网络理论的研究和发展,为过程控制和自动化控制奠定了坚实的实用基础.本文介绍的基于BP算法的水泥配料调优操作模型,对于进一步提高水泥工业的自动化技术水平和水泥质量,都具有较高的实用价值.

本文工作得到福建水泥股份有限公司黄天东工程师的大力支持,在此深表谢意.

参 考 文 献

- 1 方柏山.谷氨酸发酵调优操作模型.华侨大学学报(自然科学版),1994,12(3):331~335
- 2 朱祖培.新型干法生产的原料均化链.水泥技术,1997,(2):7~9
- 3 于素馨.浅谈传统配料法的缺陷.当代水泥,1996,(2):53~55
- 4 刘金定.生料微机配料控制系统分析及改进.福建建材,1995,(1):27~30
- 5 张立明.人工神经网络的模型及应用.上海:复旦大学出版社,1993.32~52

A Model Based on Back Propagation Algorithm for the Evolutionary Operation of Cement Ingredients

Fang Qianshan^① Ma Rong^②

(^① Dept. of Elec. Tech., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou; ^② Office of Environ. Protec., 350001, Fuzhou)

Abstract With the help of back propagation algorithm, a study is made on the relevant parameter of the chemical composition of cement ingredients. For achieving evolutionary operation of proportioning, the author sets up a neural net by which the quality of cement can be well preestimated.

Keywords proportioning, back propagation algorithm, evolutionary operation, model