

硫酸盐废水处理中 SRB 生态因子的 GA-NN 建模研究

徐 岩¹, 王爱杰², 孙晓君¹, 赵慕宇¹

1. 哈尔滨理工大学化学与环境工程学院, 哈尔滨 150040
2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090

[摘要] 利用产酸-硫酸盐还原反应器对高浓度硫酸盐废水进行处理时, 硫酸盐还原菌的生态位是该系统的核心问题。将神经网络与遗传算法有机地结合起来, 以神经网络为理论基础, 利用遗传算法优化网络中的连接权值, 对产酸硫酸盐还原反应系统进行建模与仿真, 并将之与采用回归分析法的模拟结果相对比。研究结果表明采用遗传算法优化神经网络的效果较好, 所建模型的运算结果更为可靠。

[关键词] 高浓度硫酸盐废水; 遗传算法; BP 神经网络; 硫酸盐还原菌; 限制性生态因子

[中图分类号] X17, TP18

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)07-0033-03

Investigation on Modeling of Ecological Factors of SRB in the Treatment of Sulfate Wastewater with GA-NN

XU Yan¹, WANG Aijie², SUN Xiaojun¹, ZHAO Xunyu¹

1. School of Chemistry and Environment Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China
2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China

Abstract: The niche of SRB is a key factor in the sulfate wastewater treatment in acidogenic-desulfate reactor. In this paper, the weights of jointing in the network are optimized with Genetic Algorithms on the basis of BPNN (Back-Propagation Neural Network) and the model. Emulation of the acidogenic-desulfate reducing system is also made by combining Back Propagation Neural Network with Genetic Algorithms. The investigation shows that the mean error obtained from GA (Genetic Algorithms) model is more accurate and credible than that from RA (Regression Analysis) model.

Key Words: high concentration sulfate wastewater; Genetic Algorithms (GA); Back-Propagation Neural Network (BPNN); Sulfate Reducing Bacteria (SRB); restrictive ecological factors

CLC Numbers: X17, TP18

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)07-0033-03

硫酸盐废水的厌氧处理过程是一个人工的微生物生态系统, 其实质是污染物被微生物生化代谢的过程^[1]。产酸硫酸盐还原-硫化物氧化-有机物矿化的“序贯式高浓度硫酸盐废水处

理系统工艺”是利用两相厌氧工艺的产酸相反应器作为富集硫酸盐还原菌的产酸硫酸盐还原微生物系统^[1-2]。本文利用王爱杰等人所做的动态试验与静态试验的数据结果控制、量化

硫酸盐还原菌 (SRB) 的限制性因子的强度, 实现人为调控微生境, 创建 SRB 的实际生态位。

产酸硫酸盐还原微生物生态系统具有多变量、强耦合、非线性的特

收稿日期: 2006-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (59978012)

作者简介: 徐 岩, 男, 哈尔滨理工大学化学与环境工程学院, 硕士研究生, 研究方向为废水处理中的人工智能研究;

E-mail: victor_1984@yeah.net

孙晓君 (通讯作者), 女, 哈尔滨理工大学化学与环境工程学院, 教授, 研究方向为环境污染与防治方面的研究;

E-mail: sunxjhit@yahoo.com.cn

点^[2]。传统的辨识方法和优化策略在本质上多为回归分析,对随机的、模糊的问题显得无能为力。基于以上原因,本文采用将人工智能领域的误差反向传播神经网络(Back Propagation Neural Network, BPNN)^[3]技术和计算仿生学中的遗传算法(Genetic Algorithms, GA)^[4]相结合的方法处理这样的问题。

1 BP 神经网络的建立

1.1 神经元与激活函数的选取

图 1 给出一个基本的 BP 神经元模型,它有 R 个输入,每个输入都与下一级通过一个适当的权值相连^[2]。

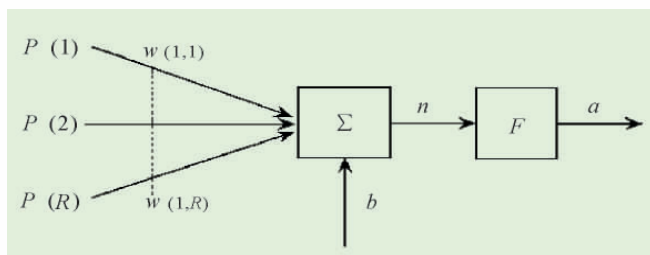


图 1 BP 神经元模型
Fig. 1 Neuron model

其中, $a=F(w \cdot p, b)$, F 为所要选定的神经元激活函数。隐含层的激活函数选取为 S 形状函数^[5], 即 $F=\frac{1}{1+\exp[-(u+b)]}$; 输出层激活函数选取为线性函数。

1.2 BP 神经网络的拓扑关系

合适的隐含层数和神经元的数目可以提高 BP 网络的逼近精度^[6]。本次建模通过在计算机上的不断试验,找出最适的网络拓扑结构——4-9-1 结构,即输入层 4 个单元,隐含层 9 个单元,输出层 1 个单元。图 2 是 BP 网络拓扑关系,图中每个节点是一个 BP 神经元。

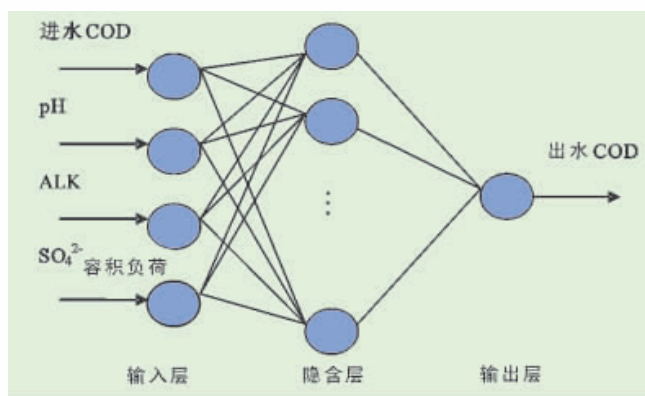


图 2 BP 神经网络拓扑关系
Fig. 2 The topological architecture of BPNN

2 遗传算法优化神经网络的基本思想和步骤

BP 神经网络的学习问题属于超高维优化问题,其网络权值的调整基本上采用梯度下降法,这样易出现局部最优而非全局最优,产生错误的结果^[7-8]。而遗传算法正具有收敛于全局最优的特长^[9],因此将 GA 算法作为调整 BP 神经网络权值的有效途径。

将 BP 网络连接权重矩阵作为改进遗传算法的遗传因子,用遗传因子所表达的连接权重矩阵建立网络并用学习样本训练网络。用网络输出值与试验真值间的误差作为遗传算法的评价函数。

2.1 个体编码

列出 BP 神经网络各层之间可能存在的连接权值范围,并将权值编码成二进制码串,每条码串中包含有网络中的所有权值,组成一个染色体。

2.2 随机产生初始种群

随机生成一定数量的码串个体作为一个初始种群。

2.3 计算适应度

设网络共有 M 个训练样本,让所有的训练样本依次通过解码后生成的神经网络,计算所有训练样本一次通过的平均总误差,将其作为每条染色体的适应度,形式如下

$$f=(1/M) \sum_{i=1}^M |T_i - O_i|$$

其中, T_i 为网络的教师值 (硫酸盐去除率的实测值), O_i 为网络的输出值^[8-10]。

2.4 遗传操作

1) 选择和交叉:选择是用来确定重组或交叉个体,以及被选个体将产生多少个子代个体。本试验应用最常用的轮盘赌选择方法。将选出的染色体进行单点交叉,产生新个体。

2) 变异:随机产生一小的概率,对随机选中的一部分染色体个体码串进行变异操作。为了克服遗传算法的“早熟”现象,可以在算法进行初期采用较小的变异概率,在算法运行一段时间后或者算法开始收敛时,采用较大的变异概率,加快染色体的变化程度,保持种群个体的多样性^[11]。

3 结果分析与结论

利用遗传算法优化网络的连接权值。设定初始种群规模为 30,进化代数 250,交叉概率 0.25,变异概率由 0.05 到 1.0 逐渐递增。遗传神经网络模型的训练误差随训练次数变化趋势如图 3 所示。从图中可以看出算法运行到 165 代时获得最佳的连接权值,网络平均总误差为 0.007。

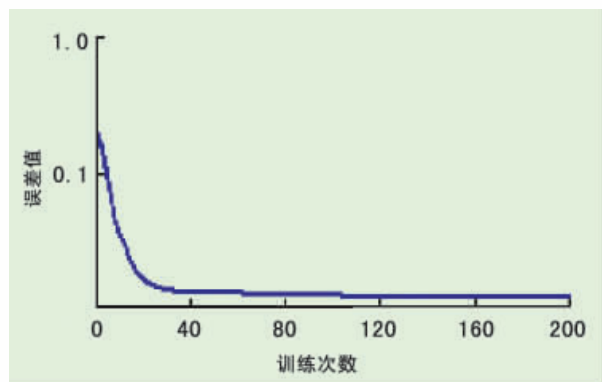


图 3 误差下降曲线图

Fig. 3 Error reducing curve

取出若干具有代表性的试验样本值, 作为训练的学习样本, 然后由计算机仿真计算测试集中的四变量。对比 GA 算法优化 BP 神经网络后的输出结果试验值的误差, 得到硫酸盐去除率的试验真值曲线和模拟值曲线, 如图 4 所示。从图中可以看出, GA 优化 BP 神经网络的输出结果接近试验真值, 这说明本模拟与试验逼近, 效果可靠。同时可以看出经 GA 算法优化后的权值能准确反映出各层之间的影响关系, 为分离权值法研究各生态因子的关系提供了更加可靠的保证。

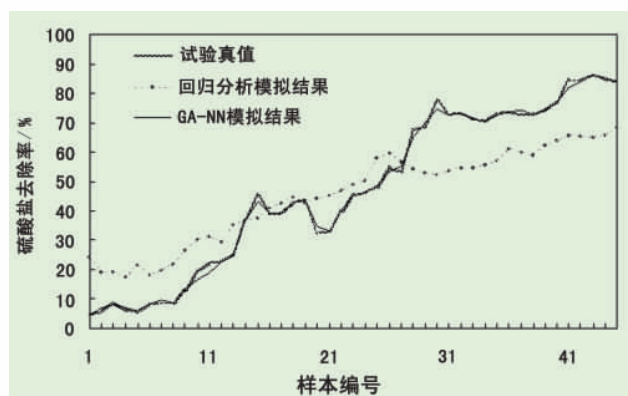


图 4 计算机预测值与试验值的对比

Fig. 4 Comparison between the data of experiments and GA-NN

参考文献 (References)

- [1] 王文静. 基于 BP 神经网络的硫酸盐还原菌多维生态位研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005.
WANG Wenjing. Research of ploy-dimensional niche for sulfate reducing bacteria based on BP neural network[D]. Harbin Institute of Technology, 2005.

- [2] 王爱杰. 产酸脱硫反应器中硫酸盐还原菌的生态学研究——顶级群落形成与生态因子调控 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨建筑大学, 2000.

WANG Aijie. The ecology of SRB in acidogenic-sulfate reducing bioreactor——Forming of climax community and controlling of ecological factors [D]. Harbin: Harbin University of Civil Engineering and Architecture, 2000.

- [3] WERBOS P. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences[D]. Committee on Appl Math, Harvard Univ, Cambridge, 1974.

- [4] HOLLAND J H. Adaptation in Natural and Artificial Systems[M]. MIT Press, 1975.

- [5] 汤忠镭. 神经网络模型在微生物工程中的应用[J]. 微生物通报, 1997, 24(1): 57-59.

TANG Zhongliu. Application of neural network in microbiological engineering[J]. Microbiology, 1997, 24(1): 57-59.

- [6] 王爱杰, 任南琪, 等. 硫酸盐还原过程中 SRB 的限制性生态因子的 BP 神经网络建模与仿真[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 267-270.

WANG Aijie, REN Nanqi, *et al*. Modelidentification and simulink of BPNN on restrictive ecological factors of SRB [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21(3): 267-270.

- [7] 杨蕾, 王鹏, 蒋益林, 等. 改进 GA 算法结合 ANN 用于酚类化合物的 QSAR 研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(2): 216-218.

YANG Lei, WANG Peng, JIANG Yilin, *et al*. QSAR for toxicities of phenols using improved genetic algorithm combined with BP artificial neural network [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(2): 216-218.

- [8] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.

WANG Xiaoping, CAO Liming. Genetic algorithm: theoretic, application and software implementation [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002.

- [9] KARR C L. Genetic algorithms for fuzzy controllers [J]. AI Expert, 1991, 6(2): 26-33.

- [10] 吴财芳, 曾勇. 基于遗传神经网络的瓦斯含量预测研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 219-224.

WU Caifang, ZENG Yong. The genetic neural networks and gas content forecast [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1): 219-224.

- [11] 杨小红, 刘乐善. 用遗传优化神经网络结构[J]. 计算机科学, 1997, 24(2): 59-65.

YANG Xiaohong, LIU Leshan. Optimization of neural networks by genetic algorithm [J]. Computer Science, 1997, 24(2): 59-65.

(责任编辑 代丽)