

# 水处理系统的神经网络建模研究<sup>\*</sup>

王常虹 高晓智 徐立新 靖 涛 庄显义 宁 慧

(哈尔滨工业大学控制工程系 150001)

(哈尔滨工程大学)

**摘 要** 对以臭氧氧化—生物活性炭技术为基础的污水处理系统的辨识问题进行研究,给出了基于 BP 神经网络的建模方案。采用水质处理系统中的 COD<sub>M</sub> 和臭氧投放量对某水质处理系统进行建模,实验结果证明了该方法的有效性。

**关键词** 神经网络, 系统辨识, 水质处理

**分类号** TP 273

## The Research on Modeling Water Processing System by Neural Networks

Wang Changhong, Gao Xiaozhi, Xu Lixin, Jing Tao, Zhuang Xianyi

(Harbin Institute of Technology)

Ning Hui

(Harbin Engineering University)

**Abstract** The modeling water processing system which uses ozone oxidization—organism carbon adsorption technique is investigated. The modeling scheme based upon BP neural network is given. The COD<sub>M</sub> and quantity of ozone oxidization are used as the modeling parameters. Experiment results show the effectiveness of the method.

**Key words** neural networks, system identification, water processing

## 1 引 言

基于臭氧氧化—生物活性炭技术的水处理过程是一个多变量、强耦合和强非线性系统,该系统通常由臭氧塔和活性炭塔两种主要设备构成,以水质的 COD<sub>M</sub>、pH 值、色度、浊度、氧化物含量等来衡量出水水质的好坏,以系统中臭氧的投放量来衡量系统的有效性。对这类系统,传统的建模方法常常难以得到满意的数学模型。鉴于神经网络在系统建模中的独特优势<sup>[1,2]</sup>,我们将其用于某水质处理系统的建模和辨识。

本文给出了水质处理系统的神经网络建模方法,并对建模结果做了分析。实验结果证明了该方法是有效的。

## 2 水质处理系统建模

水质处理系统的输入量一般包括两部分:一是入水水质的指标,主要有 COD<sub>M</sub>、pH 值、浊度、色度、氧化物含量等;二是水质处理的控制量,主要有臭氧投量,臭氧塔的停留时间,活性炭塔的停留时间等。输出量即为出水水质的指标。在臭氧塔和活性炭塔的停留时间一定的前提下,臭氧投加量是臭氧氧化—生物活性炭工艺中直接影响净化效果和处理费用的重要参数。如果投加量过低,水中有机物仅有一小部分与臭氧作用,达不到臭氧氧化的处理效果;如果投量过高,虽然会有较多的有机物被氧化成最终产物二氧化碳和水,但剩余的有机物易生成极性较强的中间产物,不利于生物活性炭的吸附和降解。同时,过高的投量也必然导致系统投资和运行费用增加。为此,我们选择入水和出水的 COD<sub>M</sub> 及相对应的臭氧投量这两项指标来建立某水质处理系统的模型。

采用并联方式得到神经网络辨识结构如图 1 所示。其中, 为入水水质指标; 为水质处理的控制量; 为实际出水水质指标; 为 BP 神经网络的预

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(69874008)

测输出。

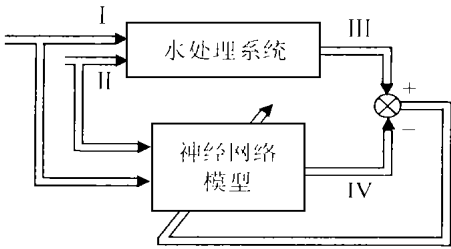


图 1 基于 BP 神经网络的水处理过程建模

在中试实验的原水条件下,以臭氧生物活性炭系统进出水中  $COD_M$  为考察对象,研究不同臭氧投量对处理效果的影响,得出的实验数据见表 1。

表 1 不同臭氧投量下的出水  $COD_M$  值及  $COD_M$  去率

| 臭氧投量<br>(mg/l) | 入水 $COD_M$ |       | $COD_M$ 去率(%) |       |       |
|----------------|------------|-------|---------------|-------|-------|
|                | 入水         | 臭氧塔出水 | 系统出水          | 臭氧塔出水 | 系统出水  |
| 1.00           | 4.49       | 4.22  | 1.93          | 6.01  | 57.02 |
| 2.02           | 4.06       | 3.94  | 1.78          | 2.96  | 56.16 |
| 3.03           | 4.84       | 4.21  | 1.61          | 13.02 | 66.74 |
| 3.72           | 4.27       | 4.15  | 1.65          | 2.81  | 61.35 |
| 4.06           | 4.96       | 4.84  | 2.02          | 2.42  | 59.27 |
| 5.01           | 4.56       | 4.52  | 1.98          | 0.87  | 56.58 |
| 5.69           | 4.16       | 3.68  | 1.84          | 14.81 | 55.77 |
| 7.28           | 4.32       | 3.68  | 1.84          | 14.81 | 57.41 |
| 9.29           | 4.21       | 3.01  | 1.54          | 28.50 | 63.42 |
| 10.28          | 4.56       | 3.80  | 1.96          | 16.67 | 57.02 |
| 15.62          | 4.36       | 3.92  | 1.44          | 10.09 | 66.97 |

采用 2: 15: 1 结构的三层前向神经网络和文献 [4] 中提出的 BP 算法,得到的辨识结果如图 2 所示。其中,(a) 是以入水的  $COD_M$  值为 X 轴、臭氧投量为 Y 轴、臭氧塔出水的  $COD_M$  值为 Z 轴的神经网络辨识结果,它表明了臭氧塔中臭氧投量与其进水  $COD_M$  值和出水  $COD_M$  值之间的关系。(b) 是以系统入水的  $COD_M$  值为 X 轴、臭氧投量为 Y 轴、系统出水的  $COD_M$  值为 Z 轴的神经网络辨识结果,它反映了臭氧投量对整个臭氧生物活性炭系统  $COD_M$  去出效能的影响。

从图 2 可明显地看出:当入水  $COD_M$  值不同时,要达到相同的出水  $COD_M$  值,则需要的臭氧最佳投量是不同的。也就是说相对于臭氧生物活性炭系统,在不同地区,当进水条件(如  $COD_M$  值)不同时,总要重新对当地水质进行全面分析,在小试及中试后才能确定系统的实际参数(臭氧投量、臭氧单元

及活性炭单元停留时间等)。这也是水处理技术设计及应用历时长、耗财大、借鉴性差的原因之所在。

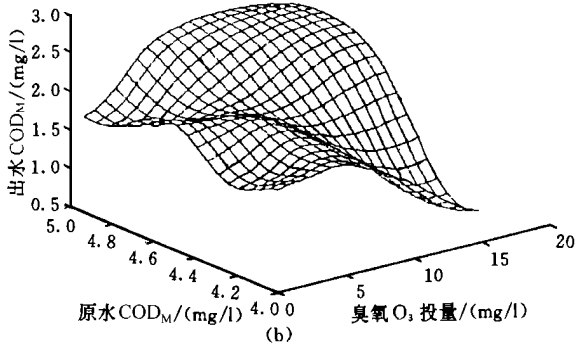
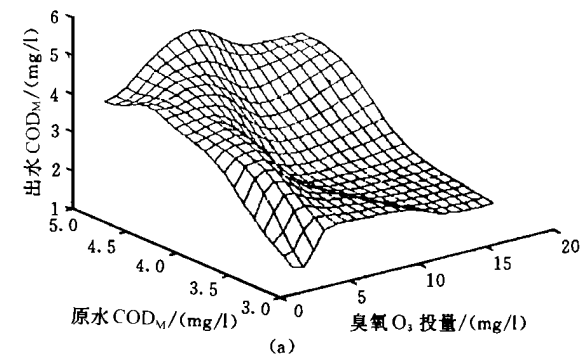


图 2 神经网络辨识结果

- (a) 臭氧塔的神经网络辨识结果
- (b) 水处理系统的神经网络辨识结果

3 结果分析与讨论

通过所获得的神经网络模型,可求取臭氧的最佳投量和臭氧的作用曲线。

3.1 臭氧的最佳投量

求取臭氧最佳投量的具体步骤是:

- 1) 把臭氧投量从最大值到最小值等分成数份。可以预见,等分数越多,臭氧投量最佳值的求取就越精确。
- 2) 将选定的若干个典型的入水  $COD_M$  值和等分后的待选的臭氧投量代入神经网络预测模型,求出对应的出水  $COD_M$  值,选取其中最小值。该最小值相对应的臭氧投量就是使出水  $COD_M$  值最小的臭氧生物活性炭系统的最佳臭氧投量。

3.2 臭氧作用曲线

根据上述两个预测模型,可求出臭氧作用的“速率”曲线。该曲线具有重要的实际意义,它反映出在入水条件一定( $COD_M$  值一定)时,臭氧投量对出水

处理效果(出水  $COD_M$  值)的影响程度。选取入水中的  $COD_M$  值分别代入两个神经网络预测模型,即可求出臭氧投量对出水  $COD_M$  值的影响曲线。在此均匀选取 6 组  $COD_M$  值,得出相应曲线分别如图 3 和图 4 所示。分析图 3 和图 4 可得出如下结论:

- 1) 臭氧投量对出水  $COD_M$  值的影响随着入水  $COD_M$  值的不同而有所区别。增加臭氧投量并不一定会使出水  $COD_M$  值降低,有时反而会使它增高。
- 2) 臭氧投量对出水  $COD_M$  值的影响程度随入水  $COD_M$  值的不同而不同,表现在各图斜率的不同。因此可用预测模型根据入水的  $COD_M$  值,得到比较经济的臭氧投量。

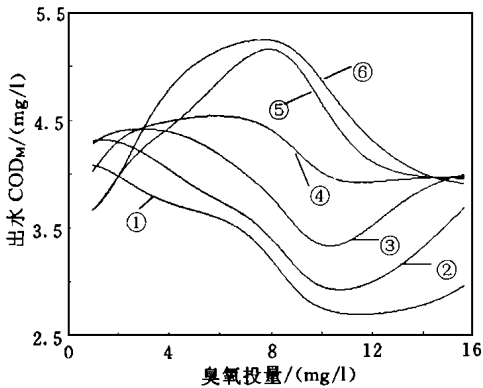


图 3 臭氧塔中臭氧投量对其出水  $COD_M$  值的影响

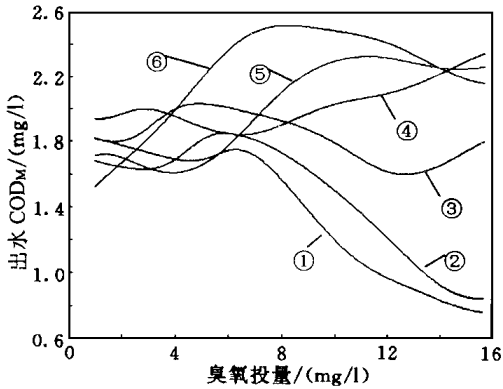


图 4 臭氧生物活性炭系统中臭氧投量对出水  $COD_M$  值的影响

4 结 语

基于神经网络建立的水质处理系统模型,其精

度高、实用性好,在设计参数的优选过程中,可节省时间,提高效率。以本文的研究为例,虽然所取反应臭氧投量与入水和出水  $COD_M$  值关系的数据只有 11 组,但对于在实验数据包含内(入水  $COD_M$  值在 4~5mg/l 之间)的其它数值,神经网络模型都有较准确的预测能力。

参 考 文 献

1 Thibault J, Grandjean B. Neural network in process control —— A survey. IFAC Symp Series, 1992. 251-260

2 Hecht Nielsen R. Theory of back - propagation neural networks. In: Proc of IJCNN 90. San Diego, 1990. 593 - 608

3 Hornik K. Approximation capabilities of multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks, 1991, 2(3): 251- 257

4 孙德保, 高超. 一种实用的克服局部极小的 BP 算法研究. 信息与控制, 1995, 24( 5 ): 283- 287

作 者 简 介

王常虹 男, 1961 年生. 1991 年于哈尔滨工业大学飞行控制器、制导与仿真专业获工学博士学位, 现为哈尔滨工业大学控制科学与工程系主任, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为智能控制, 神经网络理论及应用, 工业过程控制。

高晓智 男, 1972 年生. 哈尔滨工业大学自动控制理论及应用专业博士生. 主要研究领域为神经网络自适应控制, 模糊控制和遗传算法。

徐立新 男, 1969 年生. 哈尔滨工业大学自动控制理论及应用专业博士生, 主要研究兴趣是伺服系统控制, 计算机控制, 神经网络理论及其在控制中的应用。

靖 涛 女, 1959 年生. 现为哈尔滨工业大学无线电工程系副教授. 主要研究领域为数据采集, 信号处理。

庄显义 男, 1935 年生. 1961 年毕业于哈尔滨工业大学自动控制专业, 现为哈尔滨工业大学控制工程系教授, 博士生导师. 目前主要从事系统仿真技术, 精密伺服技术, 计算机控制和智能控制等方面的研究工作

宁 慧 女, 1963 年生. 现为哈尔滨工程大学计算中心工程师. 主要研究领域为数值计算方法, 非线性优化。