



以 ANFIS 模型实时预测曝气池溶解氧浓度

Real-time Forecast of DO Concentration in Aeration Tank Using ANFIS Model

刘建勇 顾国维 (同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

Liu Jianyong Gu Guowei (State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse,
Tongji University, Shanghai 200092)

摘要 要对曝气量进行有效控制, 应首先对曝气池内溶解氧(DO)浓度进行准确的实时预测。用 EFOR 软件对污水处理过程进行模拟, 得到的数据作为自适应神经模糊推理系统(Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inferential System, ANFIS)模型的训练样本, 通过建立 ANFIS 模型实现对曝气池 DO 的实时预测。结果表明, ANFIS 模型可以准确预测一直处于好氧状态的曝气池中 DO 的浓度, 预测误差在 0.14mg/L 以下, 但对处于好氧和缺氧交替状态的曝气池 DO 浓度的预测, 则误差较大。

关键词: 自适应神经模糊推理系统 曝气池 溶解氧浓度 实时预测 EFOR 软件 预测误差

1 引言

溶解氧是污水生物去除有机物和脱氮过程中微生物所必须的重要条件, 一般认为硝化过程中的溶解氧(DO)浓度应该大于 2.0 mg/L。随着曝气量的增加, 反应器内的 DO 浓度会相应提高, 硝化速率也会不断增大。如曝气量过大、DO 浓度过高, 不仅浪费能量, 且会影响缺氧池的缺氧状态; 过低则不能够为碳氧化、硝化过程提供足够的 DO。因此, 合理有效地控制反应过程的曝气量, 具有非常重要的现实意义。调整曝气量的主要依据是反应池内的 DO 浓度大小和曝气池内反应过程的耗氧速率, 要对曝气量进行有效控制, 应首先对曝气池内的 DO 进行准确的实时预测。

ANFIS 是将模糊推理系统与神经网络相结合的产物。ANFIS 作为一种颇具特色的神经网络, 具有以任意精度逼近任何线性或非线性函数的功能, 且收敛速度快、误差小、所需训练样本少^[1]。以活性污泥系列模型(Activated Sludge Models, ASMs)为基础的 EFOR 软件, 是国际上最普遍使用的模拟污水生物处理过程的商业软件^[2]。用 EFOR 软件对不同工艺的污水处理过程进行模拟而得到的数据, 作为构建 ANFIS 模型的训练样本, 从而建立 ANFIS 模型以实现对曝气池 DO 的预测。

2 EFOR 软件模拟条件

2.1 模拟污水类型

典型的城市污水。

2.2 模拟周期

稳定运行的城市污水处理厂的进水水质、水量随季节不同而变化, 但变化以 24h 为 1 个周期而呈现一定的规律性。确定模拟周期为 24h, 然后将全年分成若干段, 每段若干天, 每段的污水进水水量、水质每天都有相同的变化规律。可以选择不同进水变化来实现对全年进水变化的模拟。

2.3 模拟水量、水质

平均水量: 1 185m³/d;

平均进水浓度: COD400mg/L, BOD180mg/L, SS290mg/L, TKN62mg/L, NH₃-N38mg/L。

2.4 模拟温度

20℃。

3 ANFIS 模型的构建

3.1 输入输出参数

国家自然科学基金重点资助项目, 编号 50138010; 上海市重点学科资助项目。

第一作者刘建勇, 男, 1973 年生, 1995 年毕业于河北建筑工程学院, 现为同济大学博士后。

输入参数 n : 曝气池中的 SS 浓度与氧利用率直接相关; 曝气池中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度反应了曝气池中硝化反应进行的程度; 进水 COD 浓度则是主要的耗氧物质。因此, 选择与曝气池中 DO 浓度有关的参数 $n=3$ 。

输出参数 m : 曝气池中 DO 的浓度, $m=1$ 。

3.2 模糊推理系统类型

模糊推理系统类型为 Sugeno 型, 其结构示意图如图 1。

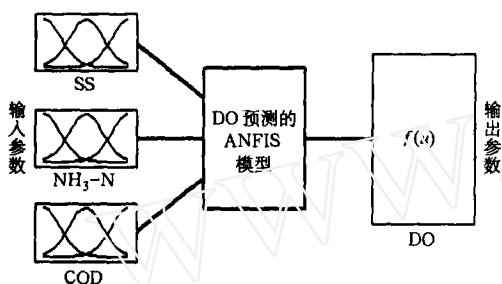


图1 模糊推理系统结构示意图

Figure 1 Structure of the fuzzy inferential system

3.3 输入参数的隶属函数

ANFIS 输入参数的隶属函数数目: 每个输入参数用 3 个隶属函数表述, 隶属函数采用钟型函数 (Gbellmf); ANFIS 输出参数采用线型函数 (linear)。

3 个输入参数的隶属函数分别用图 2、3、4 表述。

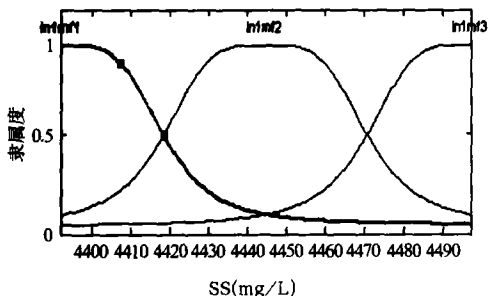


图2 SS的隶属函数

Figure 2 Member function of SS

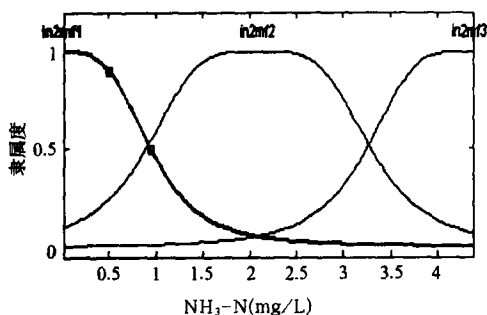


图3 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的隶属函数

Figure 3 Member function of $\text{NH}_3\text{-N}$

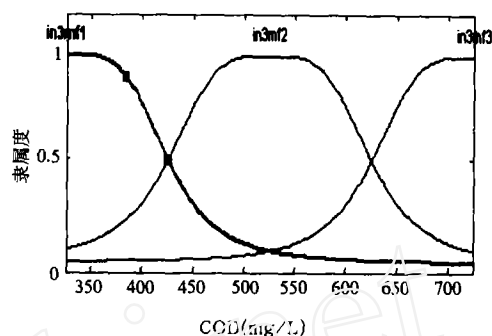


图4 COD的隶属函数

Figure 4 Member function of COD

3.4 ANFIS 的训练

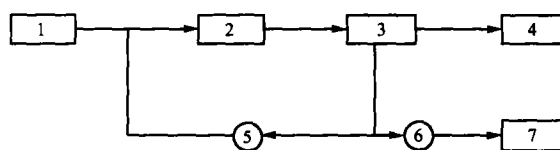
分别采用 EFOR 程序对不同活性污泥法工艺模拟得到 1440 组数据。将输出数据 DO 浓度进行归一化处理, 即将各值除以 DO 后的最大取值。得到的预测误差再乘以该最大值即为真正的预测误差。

4 对不同工艺曝气池中 DO 实时预测

所选工艺为 EFOR 软件提供的基于不同 ASM 的典型污水好氧生物处理工艺。

4.1 Simple AS 工艺

工艺流程如图 5。



1-进水; 2-曝气池; 3-污泥沉淀池; 4-出水; 5-污泥回流泵;
6-剩余污泥排放泵; 7-剩余污泥排放。

图5 Simple AS 工艺流程

Figure 5 Flow process of Simple AS

Simple AS 工艺具备了污水处理厂最基本的元素, 它是由 ASM-2d 演变而来的 CNBP 模型, 该模型描述了有机物去除、硝化反硝化、生物除磷过程。CNBP 模型被广泛验证, 是大多数模拟任务的首选模型。曝气池在厌氧和好氧 2 种状态下交替运行。

检验结果如图 6。

误差: $0.27343 \times 1.93 = 0.53 \text{ mg/L}$ 。

4.2 Recirculation ASM-1 工艺

工艺流程如图 7。

Recirculation ASM-1 工艺具有传统的内回流, 基于 IWA 专家组最初提出的 ASM-1 模型, 该模型描述了有机物去除、硝化反硝化过程。

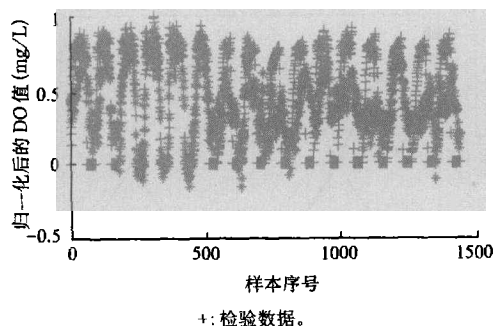


图6 对 ANFIS 的检验结果
Figure 6 Checking result of the ANFIS

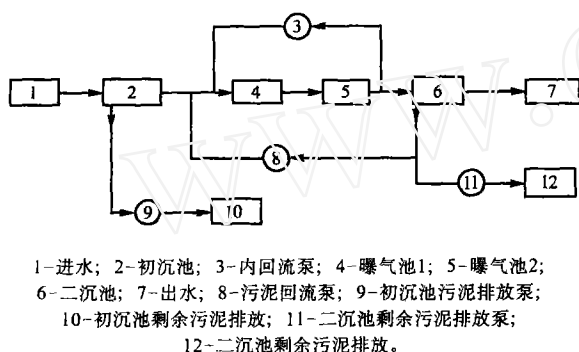


图7 Recirculation ASM-1 工艺流程
Figure 7 Flow process of Recirculation ASM-1

检验结果如图 8。

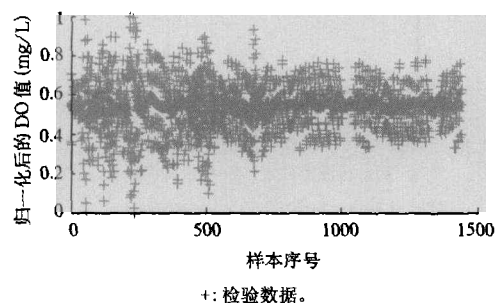


图8 对 ANFIS 的检验结果
Figure 8 Checking result of the ANFIS

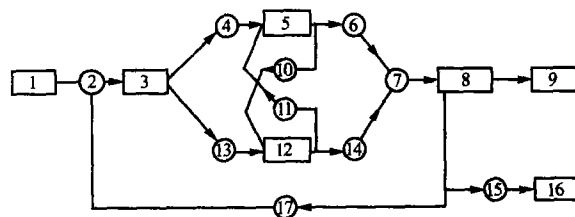
误差: $0.13514 \times 1.01 = 0.14 \text{ mg/L}$ 。

4.3 BioDenipho 工艺

工艺流程如图 9。

BioDenipho 工艺是一种高级的污水处理工艺,它是由 ASM-2d 演变而来的 CNDP 模型。BioDenipho 工艺描述了有机物去除、硝化反硝化、生物除磷过程。2 个曝气池 AS1 和 AS2 分别在厌氧和好氧 2 种状态下交替运行,运行状态共有 4 种,通过开关阀门来实现。

检验结果如图 10。



1-进水; 2-节点1; 3-生物除磷池; 4-阀1; 5-曝气池1; 6-阀2; 7-节点2; 8-二沉池; 9-出水; 10-阀5; 11-阀6; 12-曝气池2; 13-阀4; 14-阀5; 15-二沉池剩余污泥排放泵; 16-二沉池剩余污泥排放; 17-污泥回流泵。

图9 BioDenipho 工艺流程
Figure 9 Flow process of BioDenipho

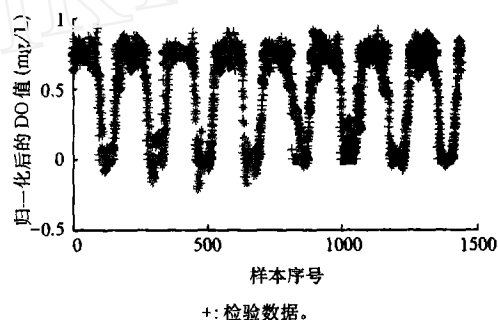
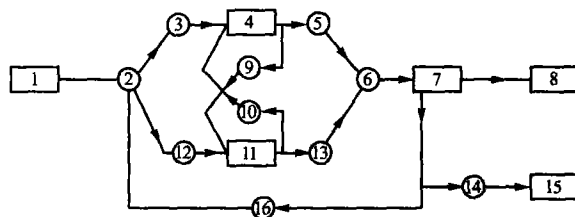


图10 对 ANFIS 的检验结果
Figure 10 Checking result of the ANFIS

误差: $0.24434 \times 2.00 = 0.49 \text{ mg/L}$ 。

4.4 BioDenitro 工艺

工艺流程如图 11。



1-进水; 2-节点1; 3-阀1; 4-曝气池1; 5-阀2; 6-节点2; 7-二沉池; 8-出水; 9-阀5; 10-阀6; 11-曝气池2; 12-阀4; 13-阀3; 14-二沉池剩余污泥排放泵; 15-二沉池剩余污泥排放; 16-污泥回流泵。

图11 BioDenitro 工艺流程
Figure 11 Flow process of BioDenitro

BioDenitro 也是由 ASM-2d 演变而来的 CNDP 模型。BioDenitro 工艺描述了有机物去除、硝化反硝化过程。2 个曝气池 AS1 和 AS2 分别在厌氧和好氧 2 种状态下交替运行,运行状态共有 4 种,通过开关阀门来实现。

检验结果如图 12。

误差: $0.25135 \times 1.80 = 0.45 \text{ mg/L}$ 。

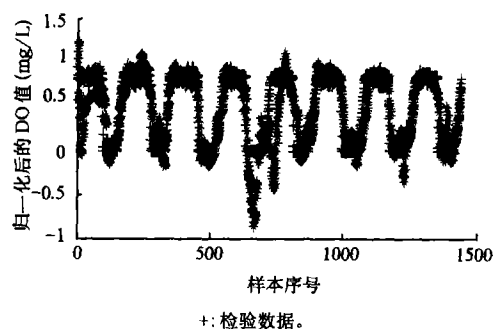
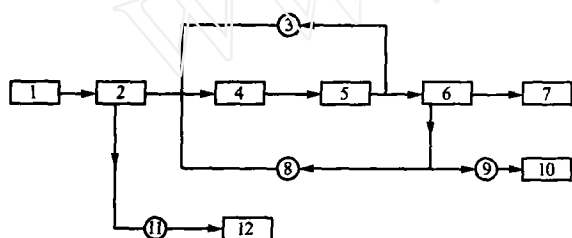


图 12 对 ANFIS 的检验结果
Figure 12 Checking result of the ANFIS

4.5 Recirculation CNDP 工艺

工艺流程如图 13。



1-进水; 2-初沉池; 3-内回流泵; 4-曝气池1; 5-曝气池2;
6-二沉池; 7-出水; 8-污泥回流泵; 9-二沉池剩余污泥排放泵;
10-二沉池剩余污泥排放; 11-初沉池剩余污泥排放泵;
12-初沉池剩余污泥排放。

图 13 Recirculation CNDP 工艺流程
Figure 13 Process of Recirculation CNDP

Recirculation CNDP 工艺是由 ASM-2d 演变而来的 CNDP 模型。它描述了有机物去除、硝化反硝化过程。

检验结果如图 14。

误差: $0.14836 \times 0.84 = 0.12 \text{ mg/L}$ 。

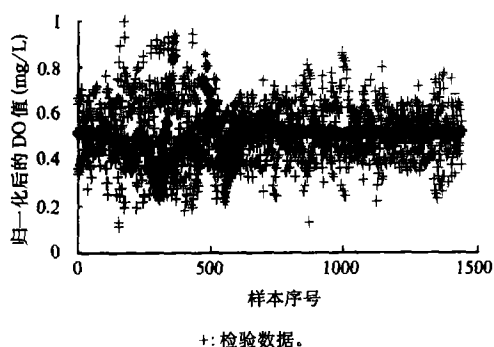


图 14 对 ANFIS 的检验结果
Figure 14 Checking result of the ANFIS

5 结论

5.1 ANFIS 对 Recirculation ASM-1 工艺以及 Recirculation CNDP 工艺的曝气池中 DO 浓度预测的误差在 0.14 mg/L 以下,对 Simple AS、BioDenitro、BioDenitro 3 种工艺的预测误差则较大。说明通过建立 ANFIS 模型可以准确预测一直处于好氧状态的曝气池中 DO 的浓度,而处于好氧和缺氧交替状态的曝气池,ANFIS 模型对其 DO 浓度的预测误差较大。

5.2 ANFIS 模型的训练时间与模型输入参数的个数及训练样本数密切相关。

5.3 由于 ANFIS 采用了反向传播算法和最小二乘法的混合算法,ANFIS 的训练时间明显小于 BP 神经网络的训练时间,且能达到全局最优。ANFIS 的 Training Epochs 一般采用 5 即可达到训练效果,而多层 BP 神经网络的 Training Epochs 一般要采用 100 ~ 200 才能达到训练效果。

6 参考文献

- 1 张浩炯,余岳峰,王强. 应用自适应神经模糊推理系统 (ANFIS) 进行建模与仿真. 计算机仿真, 2002, 19(4): 47 ~ 49.
- 2 陈立. EFOR 程序的仿真模拟功能应用研究. 中国给水排水, 1998, 14(5): 15 ~ 18.

责任编辑 杨泽生 (收稿日期: 2003-02-13)

日本开始研究利用工业用水管道 进行小型水力发电

日本经济产业省开始了有关工业用水潜在发电能力基础的调查。利用工业用水管道,由上游的水库等通过管道向各企业送水的设施,有望作为水力能源的潜在能源,而现状几乎都未被利用。如果能利用近年来的水力发电技术,就可确保供应工业用水所需电力,并有望通过出售剩余电力以改善经营。而且由于水力发电是可再生能源,有助于削减温室效应气体,并有望使公共事业体可获得削减二氧化碳的荣誉的长处。该委员会已实施以全国 153 个事业体为对象的意见征询调查,并汇总了所有管道口径和水量、水压等实况和普及所应有的制度等报告书。

(曹信孚)

and indirect: direct factors containing suspended solids and DOC, indirect factors containing temperature, pH, N/P, wave and Ca^{2+} , Mg^{2+} etc; growth of phytoplankton has double effects on transparency. Results showed that the relationship of transparency and suspended solid was $\text{SD}=5.5445 \text{ 1/SS}+0.2557$ ($R^2=0.9004$, $\text{SD}=0.1075$, $n=136$, $P<0.0001$), better than that of proxy or logarithm; there were indirect proportion to transparency and DOC, temperature, wave and pH; and direct proportion to transparency and N/P, Ca^{2+} , Mg^{2+} ; Algae decreased transparency by increase algal number and pH of water.

Key words: Lake Taihu
Transparency
Affected factors
Suspended solids
Soluble organic carbon
Phytoplankton

**Effects of PAHs and Biphenyl-like Compounds
on Hepatic Microsome AHH Activities
of *Cyprinus Carpio***

Zhang Min

Wang Jun

Yin Daqiang

(State Key laboratory of Pollution Control and
Resource Reuse, School of Environment,
Nanjing University,
Nanjing 210093)

The aryl hydrocarbon hydroxylase (AHH) activities of *Cyprinus Carpio* liver microsome induced by six PAHs and five biphenyl-like compounds have been examined in Vitro. It was found that all the tested chemicals induced AHH activity to different extent except 4'-Iodo-biphenyl-4-ol and 4'-Butyl-biphenyl-4-carbonitrile, and the trend of AHH activity changing was similar. The intense of AHH activity induced by chemicals with resemble structure as following order: naphthacene>3H-benzo [de] naphthacene; dibenzo [a, c] anthracene>dibenzo [a, h] anthracene; 4,4'-dibromo-biphenyl>biphenyl; 1-methylphenanthrene $\approx$ 3-methylphenanthrene. Consequently, it was found that AHH activity was a sensitive biomarker and it has certain relationship with chemical structures.

Key words: Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)
Biphenyl
Aryl hydrocarbon hydroxylase (AHH)
Activity induce
Cyprinus Carpio

**Real-time Forecast of DO Concentration in Aeration
Tank Using ANFIS Model**

Liu Jianyong

Gu Guowei

(State Key Laboratory of Pollution Control and
Resource Reuse, Tongji University,
Shanghai 200092)

DO concentration in aeration tank should be firstly forecasted exactly at real-time before the quantity of aeration was controlled effectively. Data from EFOR could be used as the training sample of ANFIS. ANFIS could exactly forecast the DO concentration in aeration tanks that are in aerobic condition at all times. The forecast error would be under 0.14mg/L. ANFIS could not exactly forecast the DO concentration in aeration tanks that are in aerobic condition and anoxic condition alternatively.

Key words: ANFIS (Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inferential System)
Aeration tank
DO concentration
EFOR software
Error of forecast

**Study on Secondary Clarifier Model in Activated
Sludge Integrated Model**

Yang Haizhen

Zhao Jinbao

(School of Environmental Science and
Engineering, Tong Ji University,
Shanghai 200092)

This paper introduced the secondary clarifier model in activated sludge integrated model. The clarifier model in the secondary clarifier model is an experiential formula which can simulate the suspending solid in the effluent of secondary clarifier. At the same time, the secondary clarifier thickening model is compared with a traditional layer model by means of numerical simulation. Emphasis is put on numerical solution's ability to approximate the analytical solution of the conservation law written as a non-linear partial differential equation. It can simulate the sludge distributing along the depth of the secondary clarifier, and using SVI, loading, circumfluence etc., it combines the secondary clarifier model activated sludge model, and sets up activated sludge integrated model.

Key words: Wastewater treatment
Secondary clarifier
Activated sludge