



活性污泥系统动力学模拟方法的综合分析

Comprehensive Analysis on Dynamic Simulating Method of Activated Sludge System

周雪飞 顾国维 刘建勇 (同济大学污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)
Zhou Xuefei Gu Guowei Liu Jianyong (Dept. of Environmental Science, Tongji University, Shanghai 200092)

摘要 活性污泥法的应用现状和污水中氮磷排放标准的日益严格,使得传统数学模型已满足不了目前的要求,需要对活性污泥系统复杂的动力学规律进行有效模拟。文章在综合分析活性污泥动态模型国内外研究现状的基础上,介绍了3种占主流地位的模型:活性污泥数学模型、神经网络模型和混合模型。这3种模型在污水处理的设计、运行控制和工艺优化等方面各有其独到之处。

关键词: 活性污泥系统 活性污泥数学模型 神经网络模型 混合模型

1 前言

在活性污泥系统的设计和运行中,长期以来大多采用经验或半经验的方法,一般需要针对具体的废水进行不同规模的试验,然后把试验结果应用于实际工程。由于生物处理系统复杂易变、多反应过程相互耦合、进水水质水量的剧烈波动及实际的运行控制手段等诸多因素的影响,使得经验模型未能详尽反映出生化反应过程中各种变量之间的相互关系,因此用这种方法难以经济合理地进行工程设计,也难以指导实际工程的运行管理。

开发精确、灵敏、实用的活性污泥法动态模型已成为国内外专家和学者普遍关心的问题。目前模拟活性污泥动力学的方法主要有3种:活性污泥数学模型、神经网络模型和混合模型。

2 数学模型

近20年来,国外在活性污泥数学模型的建立及应用技术开发方面的研究异常活跃,其中有代表性的为IAWO专家组所开发的活性污泥模型(Activated Sludge Model,简称ASM)。

1987年,IAWQ专家组^[1]推出了活性污泥1号模型(ASM1),该模型包括碳氧化、硝化和反硝化3个主要的作用,并以矩阵形式描述了模型的8个反应过程、13种组分、5个化学计量系数和14个动力学参数。矩阵方式的引入使得每种组份在系统中的转化过程更为直观,有助于建立物料平衡方程,因而使用起来

非常容易。由于ASM1未包含生物除磷过程,所以不能模拟有除磷要求的活性污泥处理系统,这极大地限制了该模型的推广应用,同时也促成了模型的进一步发展。

1995年,IAWQ专家组^[2,3]经过深入研究推出了活性污泥2号模型(ASM2),并在ASM1和ASM2的基础上进一步推出活性污泥2d模型(ASM2d)。该类模型在ASM1基础上增加了生物除磷过程,共包含了19种组分、19个反应、22个化学计量系数和42个动力学参数,与ASM1相似,模型也采用矩阵的概念描述生物动力学过程。ASM2和ASM2d适用于一般城市污水,对脱氮除磷系统有着较好的模拟作用。Carrette R等^[4]将ASM2d应用于实际的污水处理厂,结果表明,模型能够很好地预测 $\text{NH}_3\text{-N}$,而出水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的预测值比实验数据相对偏大,可能由于产生磷的生物性沉淀现象,其机理还不清楚,发酵及厌氧水解过程对聚磷菌超量摄磷的影响还需作进一步研究。ASM2是许多关于模型观点的折中方案,是模型进一步发展的概念平台。

1999年,国际水协会课题组^[5]推出了活性污泥3号模型(ASM3)。该模型所涉及的主要反应过程和ASM1相同。在ASM1中,COD流向非常复杂,异养

国家自然科学基金重点项目,编号:50138010及上海市学科研究项目。

第一作者周雪飞,女,1971年生,2001年毕业于哈尔滨工业大学,博士,现为同济大学环境科学与工程学院博士后。甘之军,王闻参加了本试验工作。

菌死亡—再生循环与硝化菌的衰减强烈地相互干扰；而在ASM3中，这两组菌体的全部转换过程能清晰分开，重点由水解转到了有机物质的胞内贮存。ASM3已用于实际工程，并在实践中得到了检验。KOCH G等^[6,7]将ASM3模型用于瑞士城市污水处理厂，在应用试验中得出1套动力学参数和化学计量系数，通过这些参数对模型进行校准。结果表明，校准后的ASM3能够很好地模拟好氧和缺氧条件下的批量试验、中试和不同污水处理厂的生产性试验，显然，ASM3和ASM1同样能够比较令人满意地描述普通污水处理厂的动力学行为。ASM3的理论和实用价值尚需作进一步的分析研究。

ASM系列模型为我们提供了一个共同的研究平台，虽然模型存在着一定的缺点，如所涉及的过程和参数过多，许多参数缺乏成熟的测定方法，模型的实际应用非常麻烦等。但这些特点不断地推动着模型的发展，促使研究者从多个角度展开对模型的深入研究，如模拟种群动态、生物除磷和生物量构成等。

目前，数学模型在污水生物处理方面表现出的不可替代的作用，通过良好的活性污泥数学模型与相应的控制理论相结合，可实现活性污泥系统的智能控制，其应用前景非常广阔。

3 神经网络模型

人工神经网络(Artificial Neural Networks 简称ANN)模型是由大量神经元互连而成的网络，目前常见的有三大类：前向神经网络、反馈神经网络和自组织神经网络。其中前向神经网络由输入层、隐含层和输出层组成。一般情况下，只需给出输入变量的值并确定相对合理的隐含层，就可通过网络计算得出输出变量，这种神经网络在各个领域比较常用，具有较高的普适性。

人工神经网络模型可建立输入与输出变量之间的非线性映射关系，能直接从历史数据扩展到工艺的基本现象，避免了建立机理模型所需的各种复杂参数，因而使用更为方便，是一种具有特殊效用的黑箱模型。运用神经网络模型有利于实现生产过程的在线实时控制。

最近，人工神经网络作为一种非线性系统的模拟技术已成功应用于各个领域，在水和废水领域，几种应用已见诸报道。Collins和Ellis^[8]建立1个ANN模型预测1个污水处理厂所需投加的化学药剂剂量，并控制系统的运行，结果可提高该厂的经济性能，效果较好。Capodaglio等^[9]通过建立1个ANN模型来模拟和

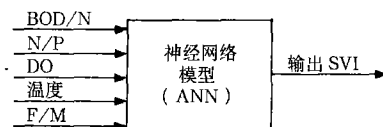


图1 神经网络模型分析和预测活性污泥膨胀现象示意
Figure 1 Activated sludge bulking analysis and forecasting by neural network

预测污泥膨胀，结果表明，经过大量的训练，神经网络模型能够及早预测污泥膨胀。神经网络模型如图1所示。

Tyasi和Du^[10]利用ANN模型预测重金属对活性污泥工艺性能的影响，发现利用训练数据集建立的模型，能很好地模拟试验结果。田禹等^[11]研究证明，基于BP和RBF人工神经网络的臭氧生物活性炭系统模型，准确地描述了系统中各影响因素的关系，可以根据建立的模型求出臭氧的经济投量，实现工艺优化运行。

郭劲松等^[12]提出了活性污泥间歇曝气的BP人工神经网络水质模型，该项研究通过对模型预测结果与实测值的比较表明，神经网络模型具有精度高、适应性强、使用方便等特点。这种模型的建立为活性污泥工艺实现在线智能控制提供了一条简便的途径。

目前，神经网络在污水处理领域的应用处于较浅、较窄的层次上，ANN的显著特点，如以任意精度逼近非线性函数的特性、自适应性、自组织性等在使用过程中还没被充分发挥出来。活性污泥工艺的非线性、复杂性（特别是生物除磷）等方面的性质使其具有利用ANN的潜势。因此，利用人工神经网络对活性污泥系统进行适当角度的建模分析，具有重要的实用价值。

4 混合模型

将数学模型和ANN模型结合起来形成1个混合模型(Hybrid Model, 简称HM)具有发展前景。Hong Zhao等^[13]对ASM2进行了一定的简化得到SPM模型(Simplified Model, 简称SPM)，此简化模型和神经网络技术(ANN)相结合，组成1个模型(见图2)。

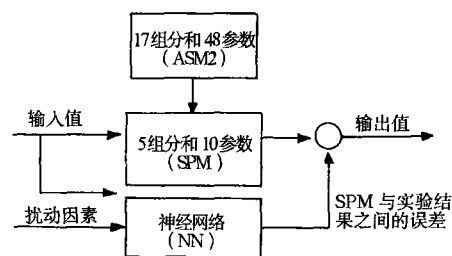


图2 混合模型
Figure 2 Hybrid model

同时利用 ASM2 模型、SPM 模型和 HM 模型对 SBR 工艺进行模拟分析。结果表明, ASM 模型对 SBR 工艺运行结果的预测值比 SPM 模型得到的更好,但是 ASM2 模型需要经常性的校准;混合模型明显具有耐用性并能改善模型的预测效果。在模型应用方面研究结果表明, ASM 模型可对工艺生化反应过程进行很好的模拟,而混合模型更适于工艺运行的在线预测和控制。

在污水生物处理方面,把机理研究与神经网络技术有效结合建立模型的研究非常少,因此,把神经网络技术结合到机理研究中,可以弥补机理研究过程中许多不确定因素所造成的误差,加快研究进程。

5 结语

通过对活性污泥系统的主要的模拟方法的综合分析发现,这几种模型各有其发展和应用的空间。

ASM 系列模型能够很好地模拟复杂工艺的反应过程,详细描述出系统内各种工艺反应和各种参数之间的交互关系,因而该类模型在城市污水厂的方案设计、运行状况预测、工艺改进等方面能发挥良好的作用。

混合模型由于机理的相对简化和采用神经网络模型对误差进行及时、有效的补偿,这些特点使其更适于处理工艺的在线预测和过程优化控制。

神经网络模型对于复杂的难于定性定量描述的工艺性质可以进行经验积累判断和有效映射。

上述 3 种模型能够在城市污水厂的方案选择、工艺设计、运行控制等方面发挥其各自的优越性。我国应及时展开这方面的系统研究,从基础理论研究的角度切实提高我国城市污水的综合处理水平。

6 参考文献

- Henze M, Grady C, Gujer W, et al. Activated Sludge Model No. 1. IAWPRC Task Group on Mathematical Modeling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, IAWPRC Scientific and Technical Reports NO. 1. 1986.
- Henze M, Grady C, Gujer W, et al. Wastewater and Biomass Characterization for The Activated Sludge Model NO. 2: Biological Phosphorus Removal. Wat Sci Tech, 1995, 31(2):13~23.
- Henze M, Gujer W, Mino T, et al. Activated Sludge Model No. 2d, ASM2d. Wat Sci Tech, 1999, 39(1):165~182.
- Carrette R, Bixio D, Thoeye, et al. Full-Scale Application of the IAWQ ASM No. 2d Model. Wat Sci Tech, 2001, 44(2~3):17~24.
- Gujer W, Henze M, Mino T, et al. Activated Sludge Model No. 3. Wat Sci Tech, 1999,39(1):183~193.
- Koch G, Kuhni M, Gujer W, et al. Calibration and Validation of Activated Sludge Model NO. 3 for SWISS Municipal Wastewater. Wat Res, 2000,34(14):3580~3590.
- Koch G, Kuhni M, Rieger et al. Calibration and Validation of and ASM3-Based Steay-State Modell for Activated Sludge Systems-Part II: Prediction of Phosphorus Removal. Wat Res, 2001, 35(9):2246~2255.
- Collins A, Ellis GW. Information Processing Coupled with Expert systems for Water Treatment Plants. ISA Trans, 1992, 31(1):61~72.
- Capodaglio A G, Jones H V, McAvoy V, et al. Sludge Bulking Analysis and Forecasting: Application of System Identification and Artificial Neural Computing Technologies. Wat Res, 1991, 25(10):1217~1224.
- Tyagi RD, Du YG. Kinetic Model for the Effect of Heavy Metals on Activated Sludge Process Using Neural Networks. Envir Technol, 1992, 13(9):883~890.
- 田禹,王宝贞,周定.BP及RBF人工神经网络对臭氧生物活性炭水处理系统建模的比较.中国环境科学,1998,18(5):394~397.
- 郭劲松,龙腾锐.间歇曝气活性污泥系统神经网络水质模型.中国给水排水,2000,16(11):15~18.
- Hong Zhao, Oliver J Hao, Thomas J McAvoy. Approaches to Modeling Nutrient Dynamics:ASM2, Simplified Model and Neural Nets. Wat Sci Tech, 1999,39(1):227~234.

责任编辑 蒋瑶琴 (收到修改稿日期:2002-07-09)

英国废弃物管理研讨会在沪举行

日前,作为“英国创新先锋周”活动之一的英国废弃物管理研讨会在上海举行。英国贸工部科技创新局大臣 Sainsbury 勋爵、上海市环境保护局副局长张全、英国环保市场联合小组总裁 Duncan Prior、上海市市容环境卫生管理局副总工程师黄兴华等出席研讨会并致辞。会上,英国专家和企业家介绍了废弃物管理项目的私有化金融、废弃物专业公司处置、医疗废弃物对策、危险品废弃物的处置以及中国香港地区废弃物管理经验等。来自上海部分高校、环保和环卫系统的近百名学者、专业工作者和管理人员共同参加了研讨会。

(本刊记者 魏正明)

grades. It was found that the leaching concentrations of Pb, Cd, Zn, Mn were higher in Zinc-C dry battery, while those of Cu, As, Hg were higher in alkaline Zinc-Mn dry battery. The leaching concentration for Zinc-C dry battery did not obviously change when shift from acid to neutral conditions, but for alkaline Zinc-Mn dry battery, it was lower under acidic condition than neutral condition. The leaching concentration was higher for both under completely destructed conditions than partly destructed ones.

Key words: Spent dry battery
Heavy metal
Leaching rate
Leaching grade

Screening on Oil-decomposing Microorganisms

Li Zenhong Lu Yitong
(Dept. of Landscape and Environmental Science, Shanghai
Jiaotong University, Shanghai 201101)

Being the oil-decomposing microorganism, Y_3 , a mixture of two kinds of bacteria was isolated after 50-day domestication, which has been done under the condition that oil was taken as the limited carbon source. The decomposing rate of Y_3 was higher than the rate of individual contained Y_3 , which showed that there was synergic reaction of the two bacteria. At the same time, under the conditions that $T=25-40^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=6-8$, $\text{HRT}=36\text{h}$ and the oil concentration was 0.1% found that the highest decomposing rate was 95.7%.

Key words: Microorganism population
Oil-decomposition
Decomposing rate
Screening

Comprehensive Analysis on Dynamic Simulating Method of Activated Sludge System

Zhou Xuefei Gu Guowei Liu Jianyong
(Dept. of Environmental Science, Tongji University,
Shanghai 200092)

Application and the *status quo* of activated sludge method and the criteria of nitrogen and phosphorus in sewage are required more strictly day by day, and the traditional mathematic model could not satisfy present requirement, so effective simulation of dynamic rule of complicated activated sludge system is necessary. In this paper, based on study the *status quo* of comprehensive analysis on dynamic model of activated sludge from domestic and abroad to recommend three kinds of important models, such as: mathematic model, neural networks and hybrid model. Each model has its

advantage in design, operation control and process optimization of sewage treatment.

Key words: Activated sludge system
Activated sludge mathematic model
Neural networks model
Hybrid model

Application of Inserted Algal Community to Water Quality Monitoring in Huangpu River

Yang Honjiun
(Xuhui District Environmental Protection Bureau,
Shanghai 200030)
Yuan Junfeng
(School of Life and Environmental Sciences, Shanghai
Normal University, Shanghai 200234)
Zhang Jinping
(Shanghai Environmental Monitoring Centre,
Shanghai 200030)

Based on physico-chemical indexes of Huangpu River reaches, from the changes of dominant of inserted algal community and diversity etc. to analyze the effect of different reaches water quality on the reference point inserted algal community. Analysis on the relation between biological diversity, diatoms indexes and grade of water quality showed that the deviation of water quality grade basically reflected the relative deviation of water quality and with little deviation of seasonal value. The study indicated that on understanding the water quality of reference point, it could be qualified or quantified through lab. test on algal community of reference point to monitoring the same river water quality ecological comprehensive situation.

Key words: Inserted algae
Community
Environmental monitoring
Water quality assessment
Huangpu River
Shanghai city

