

神经网络和专家系统在污水生物处理系统中的应用*

高景峰 彭永臻 王淑莹

(北京工业大学环境与能源工程学院,北京 100022)

摘要 对近年来国内外污水生物处理系统中神经网络和专家系统的应用进行了简要的回顾。分析了废水生物处理工艺难于控制的原因及神经网络和专家系统的结构和特点。结果表明,国外智能控制发展迅速,并且应用领域遍及污水生物处理的各个方面,国内尚处于起步阶段。简要探讨了废水生物处理智能控制今后应深入研究的问题及方向。

关键词 污水生物处理 神经网络 专家系统

Applications of artificial neural networks and expert system in biological wastewater treatment processes Gao Jingfeng, Peng Yongzhen, Wang Shuying, College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022

Abstract: The applications of Artificial Neural Networks (ANNs) and Expert System (ES) in operation and control of biological wastewater treatment processes were reviewed, and some reasons why control has been a difficult problem in these processes were presented. Then the classification, structure, characteristic and deficiencies of ANNs and ES were analyzed. It shows intelligent control has been applied in nearly all aspects of biological wastewater treatment at abroad and the initial work at home is non doing.

Keywords: Biological wastewater treatment Artificial neural networks Expert system

作为智能控制重要分支的模糊控制、神经网络和专家系统等,除了应用到工业过程控制以外,在美国、欧洲、日本的给水处理、污水生物处理、污水的物理化学处理中都有典型的成功应用。本文对近年来神经网络和专家系统在污水生物处理系统中的应用进行了简要地回顾。

1 神经网络在污水生物处理中的应用

1.1 神经网络简介

神经网络(简称 ANNs)是一个并行和分布式的信息处理网络结构,一般由多个神经元组成,每个神经元有单一的输出,可以连接到很多其他的神经元,其输入有多个连接通路,每个连接通路对应一个连接权系数。ANNs 主要是从功能上对生物神经网络的一种模拟和近似,从本质上看 ANNs 是一种不依赖于模型的自适应函数估计器,具有很好的适应能力和学习能力,并具有识别和控制等功能。在 ANNs 中,知识是通过学习例子而分布地存储在网络中的,因此,它具有很好的容错能力,当个别处理单元损坏时,不会影响整个网络的正常工作。

1.2 神经网络在污水生物处理系统中的应用

污泥膨胀是影响活性污泥法处理效果的一个非常主要的因素,现有的知识还不足以建立具有决定性的因果关系来进行预测和控制。Capodaglio 等^[1]应用系统辨识技术对此现象进行预测。他们使用 Jones Island 污水处理厂 14 个月的每日测量的 SVI、DO、丝状菌数量、SRT 和其他参数作为训练数据,建立了自回归滑动平均模型 ARMA、自回归传递函数模型 ARTF 以及 ANNs 模型。ARMA 的输入为白噪音;

ARTF 的输入为 F/M 和白噪音;ANNs 的输入为 BOD/N、N/P、DO、T 和 F/M。这些模型的输出都是 SVI。ANNs 为 25 输入,1 输出,选用 20 d 的时间进行预测对比,用这 3 个模型预测次天的 SVI,预测污泥膨胀发生的可能,与另 4 种预测技术相比,这 3 个模型的预测非常准确,远超过其他方法。

Cote 等^[2]为了提高一个根据 ASM1 简化而来的动力学模型的准确性,将它与 ANNs 联合使用。首先用下山算法对模型参数进行了优化。其次用英国 Norwich 污水处理厂的数据驯化 ANNs,用它来预测优化后的机理模型的剩余误差。在 Norwich 污水处理厂应用此混合模型仿真表明,它可以对活性污泥法的 5 个主要参数(出水 SS、COD_{Cr}、NH₄⁺、曝气池中的 DO、回流污泥中的 VSS)进行精确预测。Yu 等^[3]为提高 CSBR(连续流 SBR)系统的非稳态控制效果,建立了更可靠的联合在线检测 ORP、pH 与 ANNs 的实时控制系统。用 ANNs 来捕捉 ORP 和 pH 的控制点。此 ANNs 由输入、隐藏和输出 3 层组成。通用的 Delta 学习规则用于网络训练;梯度法用于降低误差;Sigmoid 算法用作激活公式;均方根用于评价训练和测试算法。此实时控制系统完成了不同运行阶段的水力停留时间的非稳态调节。结果表明,实时控制条件下 CSBR 的脱氮性能有所改善,与定时控制相比,曝气段和缺氧段的水力停留时间各自减少了 45% 和 15.5%。Zhao 等^[4]对比了 ASM2、简化的机理模型(SPM)以及 SPM 和 ANNs 相结合的混合模型对 SBR 系统脱氮除磷进行预测和控制的效果。仿真结果表明,ASM2 对某些数据的预测比 SPM 要强;SPM 只能对进行模型校验的那些数据作出合理的预测;混合模型还能对新的过程进行合理的预测。在混合模型中,

第一作者:高景峰,男,1974 年出生,2001 年哈尔滨工业大学博士毕业,讲师。

* 国家自然科学基金重点资助项目(No. 50138010)

SPM 与 ANNs 平行设置,ANNs 对 SPM 预测的误差进行捕捉,对 SPM 进行校正。ANNs 与 SPM 的结合显示出这种混合模型的鲁棒性以及预测能力的增强,更适用于进行在线预测和过程控制。郭劲松等^[8]提出了活性污泥间歇曝气系统的 BP-ANNs 水质模型。模型预测结果与实测值相比较表明,此模型具有精度高、适应性强、使用方便等特点,为活性污泥工艺实现在线智能控制提供了一条简捷途径。

2 专家系统在污水生物处理中的应用

2.1 专家系统简介

专家系统(ES)是一种基于知识的系统,主要解决各种非结构化的问题,尤其能处理定性的、启发式或不确定的知识信息,经过各种推理达到系统的目标任务。知识库和推理机是 ES 的两个主要组成部分。

2.2 专家系统在污水生物处理系统中的应用

Watanabe 等^[6]为传统城市二级污水处理厂研制了智能操作支持系统(IOSS),此系统包括物理模型、成像过程、知识工程(模糊控制和神经网络预测)。此前他们已将 IOSS 成功地应用于给水处理的混凝投药控制。IOSS 系统包括管理和控制两部分。数据库包括进水流速、MLSS、曝气量、微生物照片等,离线数据为人工分析和人眼观察的结果。知识库包括从历史数据以 ANNs 方式得到的规律及推理产生的规则。为了取得在线微生物照片,他们特别研制了一种水下显微镜,并应用在实际污水处理厂中,将照片与推断信息结合在一起,应用京都大学的 SACCESS 软件进行精确推理、分析丝状菌的形状,用模糊推理来判断污泥膨胀问题。

为解决污水处理厂对干扰辨识太慢的问题。Ladiges 等^[7]用 3 a 时间开发出在线 ES,并于 1991 年将其应用于德国 Salzgitter-Bad 市的传统二级污水处理厂,此系统现在仍在不断改进。此 ES 根据实验室测量的氨氮对硝化过程进行诊断;通过检测出水浊度来控制二沉池的泥水分离状况;按硝态氮和氨氮探头的信号以及鼓风机开关表的信号来控制曝气;按污泥回流速度状态阀的信号来控制回流泵,不断地监视回流污泥,检测污泥发生流失的原因,并加以预防。

Stimson 等^[9]针对传统活性污泥法实际的或潜在的出水水质问题,开发了专家系统,给操作管理人员提供建议。此系统对问题给出诊断并提供补救办法。其事故数据库允许对处理过的事件进行记录和复查。此系统可以应用于所有同类型的处理系统。当对某一特定处理厂应用此专家系统时,此处理厂特定的知识就会补充于数据库。在两个处理厂对此系统进行了测试,结果令人满意。Nam 等^[10]对处理水质水量变化较大的食品废水处理厂应用在线专家控制系统。此控制系统由管理层和过程控制层组成。过程控制层由 6 个独立的控制环和 4 个过程控制变量(进水流速、pH、DO 和 MLSS)组成。在管理层中应用基于规则的专家系统为过程控制层提供最优设定值。此外,增加了阀位置控制环以减少通过曝气阀的能量损失,还设计了基于规则的负荷分配系统,以使鼓风机不超负荷运行。应用此控制系统与不实行控制之前相比,出水 COD_{Cr}减少大于 50%,节能约 50%。Chong 等^[10]在对基于

计算机的污水处理系统诊断工具进行总结的基础上,开发并比较了基于规则和或然论的专家系统。结果表明,在判定未知条件下的任务时,基于规则的专家系统有很大的局限性;而基于或然论的专家系统,则没有这些局限。不论理论还是实际应用都证明基于或然论的专家系统更优秀。

以知识为基础的专家系统(KBES)的主要缺点就是大多数 KBES 无法从以往的例子学习,无法从信息源直接提取信息,当遇到未知的局面时系统就显得非常脆弱,当系统发展得越来越复杂时,无法再进行很好的管理,移植性很差。以往的 KBES 都是针对处理厂的某一部分开发的,这样就需要增加知识采集和学习工具来增强 KBES 的质量。鉴于以上缺点, Sanchez-Marre 等^[11]开发了 DAI(Distributed Artificial Intelligent)管理系统,对整个污水处理厂进行统一分布管理,克服了 KBES 以上缺点。Ohtsuki 等^[12]开发并应用了活性污泥系统的智能控制系统。此控制系统由多个软件模型组成,使用“黑箱”克服了多软件模型难以组织在一起的缺点,各个模型通过使用存储在分布数据库中的数据来模拟目标系统。被称作“专家模式”的软件模型包括模糊专家系统、模糊控制器、活性污泥理论模型及原始数据的评价模型。应用此多模型智能控制系统克服了单一方法控制系统的缺陷。Baeza 等^[13]为 A²/O 工艺建立了 KBES。用处理厂在线、离线数据和刺激数据训练 KBES。应用此 KBES 对污水处理厂进行管理监督以避免错误判断并维持系统的稳定运行状态,此外还改变了一些变量的设定值和一些区域变量的水平以适应进水水质的变化。

3 结 语

人工神经网络和专家系统等智能控制方法本身都是新兴学科,尚处在发展的初级阶段,还未形成完整的理论体系,应该不断跟踪其发展并将其及时应用到污水生物处理系统中。在开发污水生物处理系统的智能控制系统时,首先根据各处理工艺的具体情况开发出各自合适的控制系统,在此基础上增添自适应、自学习功能,争取开发可移植的智能控制系统。综合利用模糊控制、人工神经网络和专家系统等智能控制系统的优点,克服它们各自的缺陷,以达到污水生物处理系统的高效、稳定运行。

参考文献

- 1 Capodaglio A G, Jones H V, Novotny V, et al. Sludge bulking analysis and forecasting: application of system identification and artificial neural computing technologies. *Water Research*, 1991, 25(10): 1217~1224
- 2 Cote M, Grandjean B P A, Lessard P, et al. Dynamic modelling of the activated sludge process: improving prediction using neural networks. *Water Research*, 1995, 29(4): 995~1004
- 3 Yu R F, Liaw S L, Chang C N, et al. Applying real time control to enhance the performance of nitrogen removal in the continuous flow SBR system. *Water Science & Technology*, 1998, 38(3): 271~280
- 4 Zhao H, Hao O J, Mcavoy T J. Approaches to modeling nutrient dynamics ASM2 simplified model and neural nets. *Water Science & Technology*, 1999, 39(1): 227~234

(下转第 38 页)

关方各一个样本作现场调查。作现场调查示范,一方面检验表格设计的可操作性,针对表格填写中可能出现的问题提出修改意见和处理方法,另一方面传授现场调查的思路和技巧。工作小组根据现场调查示范取得的经验,修改识别环境因素的作业指导书。

(5) 调查准备会议。咨询顾问及工作小组确定环境因素调查的范围,召开调查组会议,部署具体的调查安排,根据部门的不同情况,要因地制宜设计调查方式。对调查组成员,尤其是部门主管和现场管理员做好调查培训工作,确保具备调查能力,明确调查要达到的目标和要求。

(6) 调查工作正式开展。各部门按调查准备会议要求有计划地展开调查工作,出现问题及时与工作小组沟通。工作小组是信息交流中心,负责调查组各方面的沟通工作。在与生产线有关的调查中,安排技术小组成员下部门共同调查是一种较好的工作方式。在现场调查中某些无法确定的参数,可在汇总阶段由工作小组通过调阅公司的其他汇总资料,或请教专业人员等多种方式再作解决。

(7) 调查表汇总。工作小组按一定的汇总原则对登记表的信息进行整理汇总,其中与相应的法律法规的要求及技术小组提供的资料进行对比是很重要的环节。另外可将环境因素分类为污染型环境因素和能资源型环境因素。污染型环境因素又可按 3 种时态,3 种状态,大气、水体、噪声、固废、土壤污染及其他进行归类;能资源型环境因素按使用量大小,削减的难易程度进行排序,汇总好的资料将为下一阶段的重要环境因素判定及程序文件的编写打下很好的基础。

4 实例应用

将以上工作模式应用于某市成套设备有限公司,该公司占地面积约 53000 m²,有 6 个中层管理部门,下设 7 个分公司,厂区内包含餐厅、员工宿舍,有建筑施工及厂地出租等与相关方有关的活动,员工人数约 1200 人。环境因素调查工作采用上述工作模式进行,公司正式发文公布调查组名单,其中领导小组成员 3 人,工作小组成员 11 人,技术小组成员 14 人,部门主管和部门现场环境管理员 14 人,部分成员同时参

与不同小组,调查组工作各个阶段所用时间见表 1。

表 1 调查组工作各个阶段所用时间

各阶段名称	所用时间/d	占整个调查时间的比例/%
初始环境评审培训	1.5	4.7
编写环境因素识别的作业指导书	3	9.4
现场调查示范	1.5	4.7
调查准备会议	1	3.1
调查工作正式开展	15	46.9
调查表汇总	10	31.2

注:资料收集与编制可与其他阶段同时进行,需时 20 d

最终公司调查了 16 个部门(含相关方),识别环境因素 239 个,其中与相关方有关的环境因素 40 个,为完成初始环境评审报告,以及第二阶段的体系策划和文件编写提供了充分可靠的环境信息资料。

5 结 论

本文探讨的工作模式强调调查组成员构成合理,各施其职,及时沟通,协调合作。经在若干家企业应用,证明这一模式是富有成效的,虽然不同企业组织规模与结构、管理模式、环境因素复杂程度、人员素质等均不相同,识别环境因素的各个工作阶段所需时间也不同,但只要按这一模式规定的原则进行,可以使调查工作有条不紊地开展,有效地识别出环境因素,为下一阶段的工作打下坚实的基础。

参考文献

1 孙海燕,杜云雁. 组织在建立和保持环境管理体系中容易出现的问题. 世界标准化与质量管理, 2000, (8): 33~34
2 杜云雁. 谈 ISO14001 标准中的环境因素. 世界标准化与质量管理, 1998, (7): 31~32
3 国家环保总局, 华夏环境管理体系审核中心及北京国环环境管理与工程咨询中心编. 如何通过 ISO14001 认证. 北京: 学苑出版社, 2000. 42~55

责任编辑: 闵 怀 (收到修改稿日期: 2003-06-11)

(上接第 32 页)

5 郭劲松, 龙腾锐, 高 旭. 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
6 Watanabe S, Baba K, Yoda M, et al. Intelligent operation support system for activated sludge process. Water Science & Technology, 1993, 28(11~12): 325~332
7 Ladiges G, Kayser R. On-line and off-line expert systems for the operation of wastewater treatment plants. Water Science & Technology, 1993, 28(11~12): 315~323
8 Stimson K R. Activated sludge control adviser. Water Science & Technology, 1993, 28(12): 295~302
9 Nam S W, Myung N J, Lee K S. On-line integrated control system for an industrial activated sludge process. Water Environment Research, 1996, 68(1): 70~75
10 Chong H G, Walley W J. Rule-based versus probabilistic ap

proaches to the diagnosis of faults in wastewater treatment processes. Artificial Intelligence in Engineering, 1996, 10(3): 265~273
11 Sanchez-Marre M, Cortes U, Lafuente J, et al. DAI-DEPUR: an integrated distributed architecture for wastewater treatment plants supervision. Artificial Intelligence in Engineering, 1996, 10(3): 275~285
12 Ohtsuki T, Kawazoe T, Masui T. Intelligent control system based on blackboard concept for wastewater treatment processes. Water Science & Technology, 1998, 37(12): 77~85
13 Baeza J, Ferreira E C, Lafuente J. Knowledge-based supervision and control of wastewater treatment plant: a real time implementation. Water Science & Technology, 2000, 41(12): 129~137

责任编辑: 闵 怀 (收到修改稿日期: 2003-05-16)