



模糊控制在污水处理系统的应用

薛福霞, 刘载文, 王正祥, 杨 斌

(北京工商大学 信息工程学院, 北京 100037)

摘 要: 针对污水处理生化反应过程的复杂性、不确定性和难以建立准确的数学模型的特点, 研究了 SBR 污水处理的工艺及流程, 提出用模糊控制的方法实现 SBR 污水处理的自动控制。详细讨论了模糊控制系统的结构和原理, 分析了污水处理过程模糊控制技术今后的发展方向。

关键词: 污水生物处理; SBR 法; 模糊控制; DO

中图分类号: TP273⁺.4

文献标识码: A

污水生物处理系统是以微生物处理为主体的复杂的多输入多输出动态系统, 具有多目标的控制任务要求, 例如, 要求水质达标、脱氮除磷、节省运行费用、防止污泥膨胀等。此外, 原水水质水量不断波动具有随机性和时变性, 每个变量之间也存在高度非线性。这些因素使系统难以建立基本的数学模型, 因而也就无法根据传统的控制理论(如 PID 控制等)进行有效的控制。随着科学技术的发展, 对这些复杂系统控制性能的要求越来越高, 将污水处理系统的自动控制向智能化方向转变已经势在必行。

模糊控制作为智能控制的一个分支, 适用于解决具有高度非线性、时变性、随机性的复杂系统的控制问题^[1]。模糊控制在污水处理系统中已取得了成功应用。例如: 控制污泥回流比、剩余污泥排放量、酸碱的投加量等。

1 污水处理过程

1.1 污水处理工艺及基本流程

目前, 大多数城市生活污水处理厂采用活性污泥法处理工艺, 其基本流程(如图 1)主要包括一沉池、曝气池、二沉池、污泥回流及剩余污泥排放几个系统^[2]。一沉池用于去除污水中的悬浮物, 由一沉池流出的污水与从二沉池底部回流的活性污泥同时进入曝气池, 形成混合液。在曝气作用下, 活性污泥和

污水充分接触并能得到足够的溶解氧。污水中的可溶性有机污染物被活性污泥所吸附, 并被存活在活性污泥上的微生物分解, 使污水得到净化。混合液中的悬浮物在二沉池内沉淀下来, 其中的大部分污泥回流形成回流污泥, 并流出净化水。

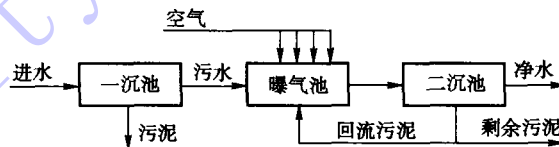


图 1 活性污泥法处理流程

1.2 污水处理系统中的控制方法

传统的控制方法主要是时间程序控制和流量程序控制。实际上流入污水处理厂的废水流量和废物浓度都在显著地变化(尤其是工业废水), 而反应器中的活性污泥的性质也随时间和状态变化。这样根据设定的反应时间, 可能会造成出水水质不合格或者浪费能耗。所以, 这两种控制方法的缺点都在于不能根据废水水质实际变化情况及时调整某些运行参数, 难于实现自适应的自动控制。

近年来污水处理过程中的控制方法主要是智能控制。智能控制就是利用计算机模拟人脑的思维进行控制, 是人工智能、控制论、系统论和信息论等多种学科的高度综合与集成, 它主要包括模糊控制、神经网络控制、学习控制和专家控制等。现在发展起来



的许多工程系统与过程具有高度的不稳定性和模糊性,以致难于建立基本的数学模型.而对这类复杂的系统进行智能控制,能得到其他控制方式无法实现的令人满意的结果.

2 模糊控制在污水处理过程中的应用

2.1 模糊控制用于污水处理过程的优越性

模糊控制以模糊数学为基础,它基于人的知识和经验并结合规定的性能指标,构造模糊控制器,把定性描述的条件语句利用模糊集理论将其定量化,从而达到接受人的经验、模仿人操作的控制目的.并通过人机界面上的运行操作交互扩充,可以不断修正条件和完善知识库,以获得最佳控制.

污水处理系统的控制属于多目标控制,主要体现在:需要控制几种出水指标;需要抑制外部环境的变化(扰动)以确保处理过程的稳定性;需要使处理过程费用最低等^[3].模糊理论在污水控制领域取得广泛的应用,完全是由模糊控制本身的特点决定的.模糊控制器采用人类语言信息,模拟人类思维,易于接受,设计简单,维护方便.而且它基于包含模糊信息的控制规则,所构成的控制系统比常规控制系统稳定性好,鲁棒性高,系统抗干扰能力强.在改善系统特性时,模糊控制系统不必像常规控制系统那样只能调节参数,还可以通过改变控制规则、隶属函数、推理方法及决策方法来修正系统特性.此外在节约能量,保证出水水质等方面模糊控制都优于传统的反馈控制系统.正是基于模糊控制这些特点,近年来它已成为污水处理系统的研究热点.

2.2 模糊控制在污水处理领域的应用

近年来,国内外均有学者对污水处理智能控制工艺进行研究,并将智能控制技术应用用于污水生物处理的各个层面:控制出水 COD_{Cr}、预测出水氨氮浓度、控制脱氮除磷、预测污泥膨胀的发生、控制出水悬浮物浓度和控制曝气强度等.其中模糊控制技术的应用尤其广泛.

1980年 R M Tong 等首次将模糊控制应用到污水处理中,将出水 BOD、DO 及回流污泥量等 9 个参数作为输入变量,在原水变化的情况下维持出水水质,并防止污泥膨胀和污泥上浮^[4]. T. Aoi 等在高负荷生物脱氮工艺处理粪便污水系统中采用了一种基于模糊推理的直接氨控制系统. Tsai 等建立了对出水悬浮物浓度进行预测和控制的动态活性污泥

法模糊控制. Yin 等研究了 4 种模糊逻辑控制系统,其模糊控制比常规控制更加节约能源、减少波动.

与国外相比,国内从事污水处理模糊控制的研究人员较少.彭永臻等研究了生物电极脱氮工艺的在线模糊,取得了较好的控制效果.高景峰等研究了 SBR 法的在线模糊控制系统,并建立了去除有机物和脱氮的模糊控制器.陆杰研究了模糊控制在三沟式氧化沟中的应用,主要对转刷电机进行间歇式和组合控制.吴建辉研究了仿人智能模糊控制在污水处理中的应用,指出该系统具有较强的鲁棒性和自适应性等优点.

2.3 污水处理模糊控制系统的设计

模糊控制系统是一种自动控制系统,它以模糊数学、模糊语言形成的知识表示和模糊的规则推理为理论基础,采用计算机构成的闭环结构的数字控制系统.其组成是具有智能性的模糊控制器.模糊控制器是在模糊推理机基础上建立起来的,由模糊化、模糊知识库、模糊推理机和去模糊化 4 个部分组成,一般按输出偏差和偏差变化对过程进行控制.基本结构如图 2. 输入变量为偏差 E 和偏差变化率 EC ,输出变量为 U . 其控制原理是,首先将实际测得的精确量 E 和 EC 通过模糊化变换成模糊量,再根据由大量实验数据和专家经验得出的模糊知识库把模糊输入量进行模糊推理得到相应的模糊控制量,经模糊判决将模糊控制量转化为精确控制量输出,从而实现对控制量的控制.

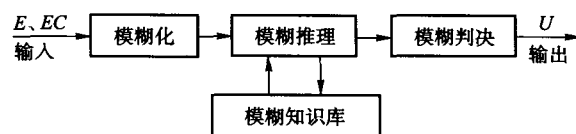


图 2 模糊控制器原理图

2.4 模糊控制系统中控制参数的选取

污水生物处理系统的控制变量即控制系统的输出,包括曝气池中的曝气量、回流污泥比和剩余污泥排放量等;控制参数即控制系统的输入.解决控制问题的关键在于寻找一些既可以在线监测,又可以指示反应进程的控制参数.国内外的学者研究表明: DO、BOD/COD、pH 值、SS 和 ORP 等的变化规律能从不同角度不同程度的反映有机物降解、脱氮除磷生化反应的进程,以它们作为控制参数是可行的.

1) 以 DO 为控制参数

活性污泥法是一个需氧的代谢过程.反应器中微生物利用曝气提供的溶解氧(dissolved oxygen,



简称 DO)来降解污水中的有机物等污染物质。DO 的变化取决于进水的浓度、曝气量、污泥浓度等因素。试验研究表明,进水浓度高,需氧量大,反应时间长;供气量大,有机物降解快,反应时间短。因此,DO 是反应过程中一个重要的控制参数。研究 SBR 中 DO 的变化,探求 DO 在污水处理过程中的控制作用,这对于保证出水水质和减少运行费用具有重要意义,又由于 DO 能够在线检测,响应时间短,精确

度高,所以可以选择 DO 作为 SBR 法的控制参数。

在污水处理过程中,通常由鼓风机通过进气管道送空气到生化池,来补充曝气池内的溶解氧。通过调节鼓风机的转速控制调整曝气池的进气量。DO 控制系统的结构框图如图 3^[5]。首先把 DO 的设定值与测试值相比较,比较结果送入模糊控制器,然后通过变频器控制鼓风机的转速,从而控制曝气量。整个系统是一个闭环反馈控制系统。

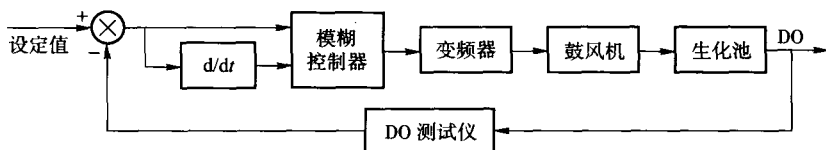


图 3 DO 控制系统结构

2) 以 BOD 或 COD 为控制参数

对出水悬浮物浓度进行预测和控制的动态活性污泥法模糊控制的研究也有许多。出水 BOD 或 COD 通常随出水悬浮物浓度增加而增大。因此,设法降低出水悬浮物浓度是提高活性污泥法处理效果的关键所在。采用模糊控制策略能有效地降低出水悬浮物浓度,使处理系统的运行稳定可靠,但污水 COD 特别是 BOD 的测定方法较为繁琐且耗时很长,不能及时反映实际情况。目前,虽然出现了 COD 在线检测仪,但仍存在滞后、较大误差及价格昂贵等问题。

3) 以 pH 值为控制参数

pH 值控制也是污水处理中广泛存在的控制问题。如制药厂的生化反应,油田污水的处理等都需要对 pH 值控制,使容器中的混合液处于中性环境中。pH 值通常用电位法测得,pH 值传感器的输出信号以脉冲的形式传给控制器。由于是脉冲信号,采用光电隔离的方式将前级信号与控制器隔离,既解决长距离传输的问题,又提高了系统的抗干扰能力。

但是,pH 值的控制比较困难,主要是因为 pH 值中和过程中的强烈非线性,尤其当 pH 值接近终点时。所以需要建立一个 pH 值的模糊逻辑控制系统,使之能够精确的确定酸碱的投加量,并可以在较短时间内将 pH 值的偏差控制在一个很小的误差范围之内。由此,对原污水的 pH 值和发酵过程中的 pH 值的检测和控制,可以使系统能够高精度的确定酸碱的投加量,具有较高的控制精度和可靠性。

4) 以电导率作为控制参数

对于生物净化系统来说,通常以电导率作为控

制参数。电导分析系统通过与侵入溶液中的传感器相连的电子线路测量电导信号的大小,将电解质如盐、酸或碱加入溶液中可以改变电导。电导率受温度影响较大,在实际调试中发现,准确地对仪器进行温度补偿调整,可以获得较为准确的电导测量值,根据该测量值控制加药电机,改变液体的含盐量,从而实现电导率的控制。

此外,也有许多以污泥浓度、氧化还原电位和温度等为控制参数的研究,并取得了一定的成果。如 Y. P. Tsai 等对出水悬浮物浓度进行预测和控制的动态活性污泥法模糊控制,研究的目的是随进水流量的变化及时调整污泥回流量以减少出水悬浮物浓度,同时降低出水 BOD 或 COD 的浓度。

3 污水处理领域模糊控制技术的发展

模糊神经网络是将模糊逻辑和神经网络相结合,使用神经网络的结构来实现模糊逻辑系统。它的基本思想是 FNN 通过学习算法从典型样本数据中学习参数,自动地调节隶属函数并产生模糊规则,从而得到满足要求的模糊模型。因为在污水处理系统中,使用查表法变更模糊规则和隶属度函数较为困难,并且输入量个数的增加将导致所需存储量成指数增长,这些都是模糊控制的致命弱点。而神经网络具有很强的自适应性和学习能力、非线性映射能力、容错能力和大规模并行处理能力,所以模糊神经网络必然是模糊控制的一个发展趋势。

模糊控制的另一发展趋势是与专家系统相结合,产生模糊专家控制(EFC)系统。EFC 把人的经验知识和求解问题的启发式规则、程序进行模型化,



强调知识的多层次及分类的需要,提供了一种相当丰富的表达过程控制知识和经验的能力。EFC 在保持 FLC 优点的同时,丰富了适用于 FLC 的知识结构及内容,比常规 FLC 增强了处理复杂控制问题的能力。对活性污泥系统中曝气机转速采用 EFC 进行仿真研究的结果表明,EFC 具有比 PI D 调节优越得多的调节品质和对系统参数变化的鲁棒性,且方案实施简单,性价比高,具有一定的推广价值。

混合人工智能技术是上述两种结合的统称,它弥补单一技术的缺陷,尤其适用于复杂系统的控制。污水处理系统中涉及大量的不确定信息需要应用模糊控制技术处理,控制规则的建立离不开专家知识,而神经网络技术又可以改进系统的学习能力,因此,这种混合技术的应用将是今后发展的方向。

此外,仿人智能模糊控制也是模糊控制的一个发展方向^[6]。它是力图用智能算子(包括数学算法与直觉逻辑推理)来仿效或近似模拟人的控制行为,设计出智能控制器。仿人智能模糊控制算法是基于模糊逻辑并将仿人智能有机融和的一种设计方法,采用“观察/控制/等待/再观察/再控制/再等待”的思想。当偏差及偏差变化率往绝对值变大的方向变化时,控制器加以闭环控制;当偏差及偏差变化率往绝对值变小的方向变化时,控制器加以开环控制。

4 结 论

国外学者自 20 世纪 80 年代以来就开始了将模

糊控制技术应用在污水生物处理各个方面的研究。虽然国内在这方面的研究和应用还属于起步阶段,但也取得了明显的成果,而且日益成为研究热点。与此同时,也发现了模糊控制本身所存在的问题。如信息简单的模糊处理导致系统控制精度降低、动态品质变差;采用 IF-THEN 控制规则不便于控制参数的学习和调整,缺乏自适应能力等。随着对动态系统性能要求的不断提高,将模糊控制与别的智能控制方法结合成为未来污水处理控制的主要研究方向。

参考文献:

- [1] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1996.
- [2] 吴芳云,陈进富,赵朝成,等. 石油环境工程[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [3] 刘建勇,周雪飞. 智能控制在污水处理中的应用现状及展望[J]. 中国给水排水,2002,18(8):2.
- [4] Tong R M, Beck M B, Litten A. Fuzzy control of the activated sludge wastewater treatment process [J]. Automatic,1980,16(6):1-4.
- [5] 欧林林,王先路. 活性污泥系统中溶解氧模糊控制器的研究[J]. 控制系统,1999,14(2):2.
- [6] 王耀南. 智能控制系统[M]. 长沙:湖南大学出版社,1996.

FUZZY CONTROL OF WASTEWATER TREATMENT PROCESSES

XUE Fu-xia, LIU Zai-wen, WANG Zheng-xiang, YANG Bin
(College of Information Engineering, Beijing Technology and Business
University, Beijing 100037, China)

Abstract: According to the features of the complexity, establishment and the precise model that is hard to build in a sewage disposal system, a fuzzy control method in the automatic control of SBR sewerage processing is presented. The principle and structure of fuzzy control system are discussed in detail, and future developing trends of fuzzy control in this field is provided.

Key words: sewerage processing; sequencing batch reactor; fuzzy control; DO