

污水处理系统的在线模糊控制

12
5-7-60

彭永臻

曾薇

李探微

高景峰

x703

(给排水教研室)

摘要 通过对模糊控制理论的分析以及活性污泥法污水处理过程非线性、时变性与随机性的过程变化特点, 强调指出模糊控制在活性污泥法污水处理中应用的可行性与必要性以及广阔的应用前景。尤其是在序批式活性污泥法中, 通过在线检测 ORP, DO, pH 来研究它们与有机物降解, 硝化, 反硝化, 生物除磷等生化反应的相关关系, 实现模糊控制, 可取得令人满意的控制效果。

关键词 模糊控制; 序批式活性污泥法; ORP; DO; pH

污水处理系统

分类号 X703

0 概述

1965 年扎德(L. A. Zadeh)发表了关于模糊集合论的论文^[1], 提出了用“隶属函数”这个概念来描述现象差异的中间过渡, 从而突破了古典集合论中属于或不属于的绝对关系。Zadeh 教授这一开创性的工作标志着数学的一个新的分支——模糊数学的诞生。为描述和处理事物的模糊性和系统中的不确定性提供了强有力的工具。同时, 为使计算机能够模拟人脑思维的模糊性特点, 使部分自然语言作为算法语言直接进入计算机程序, 为计算机完成更复杂的工作奠定了理论基础^[2]。

自从 1974 年英国马丹尼(E. H. Mamdani)把模糊语言逻辑用于过程控制获得成功之后, 仅仅二十多年来, 模糊控制在工业过程, 家用电器以及高技术领域的一系列成功应用, 充分显示了模糊控制的巨大应用潜力。目前, 模糊控制作为智能控制的一个分支在蒸汽发动机, 气炼机, 电弧冶炼炉, 军事等工业过程中取得了较好的控制结果。它在工程中的应用之所以日益广泛与深入, 是因为随着科技的发展, 许多工程系统变得越来越复杂。其复杂性表现在高度的非线性, 动态突变性及分散的传感元件与执行元件, 分层和分散的决策机构, 复杂的信息结构等, 这些复杂性难以用精确的数学模型来描述。除了上述复杂性之外, 还存在某些不确定性, 这种不确定性也难用精确的数学模型来描述。然而, 对这些复杂系统控制性能的要求越来越高, 而基于精确模型基础上的传统控制并不能解决这种复杂的控制问题。在这种情况下, 采用模糊控制可以取得其他控制方式无法达到的控制结果^[3,4]。

污水处理模糊控制的组成与原理如图 1 所示, 它的核心部分是图中虚线框中的模糊控制器, 模糊控制操作是由计算机运行其模糊控制程序来实现的, 其主要步骤如下^[5]:

1. 经传感器采样后计算机获取被控对象输出的被控制量(非模糊的数据), 将其值与给定值(如处理水质标准)比较, 经计算得到误差信号 E 。将该误差 E 作为模糊控制的输入变量。

2. 把该精确的误差信号 E 经过模糊化处理后变成模糊变量(可用模糊语言表示), 得到偏差 E 的模糊集合向量 e 。

3. 根据模糊推理合成规则, 由 e 和模糊控制规则 R 的模糊关系合成进行模糊决策, 得到模糊控制的输出变量即控制量的模糊值 u 为

$$u = e \cdot R$$

式中: $\sim$ 表示模糊变量; $\cdot$ 表示模糊关系的合成。这一步也可以根据上述原理制成的查询表获得 u 。

收稿日期: 1998-12-01

彭永臻 男 1949 年生 教授/哈尔滨建筑大学市政环境工程学院(150090)

国家自然科学基金项目(59878016)

4. 为了对被控制对象施加精确的控制, 将模糊控制变量 u 经非模糊量化处理后, 得到精确的数字控制量, 再经数模转换为精确的模拟量传递给执行机构, 对被控对象进行实时控制。然后再中断采样进行下一步控制, 实现其在线模糊控制。

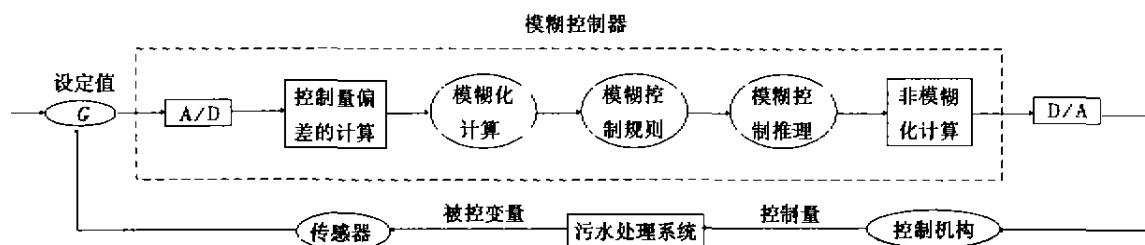


图1 污水处理模糊控制系统的组成与原理示意图

1 污水处理过程模糊控制的可行性与必要性

随着我国经济的高速发展, 对环境保护方面提出了更高的要求, 各大中城市相继建成了污水处理厂。而在实际运行中, 能达到最佳运行状况, 运行效果较好的只占少数。究其原因, 主要是运行管理水平低。虽然某些污水处理厂在一定程度上实现自动化, 但由于大多数采用传统的控制方式, 并不能随进水水质、水量的变化来控制运行, 致使出水水质达不到排放标准或浪费了能源。而且, 一些自动化检测设备, 仪表的功能也不是很完善, 在实际检测中达不到预期效果, 误差很大。目前尚未开发出在线检测有机物、氮、磷的传感器, 更使传统的反馈控制无用武之地。面对这种现实, 我们迫切需要提高污水处理设施的自动化管理水平, 以保证处理系统可靠的运行, 充分发挥其处理能力。

绝大多数城市污水处理厂采用活性污泥法, 这是典型的复杂的动态工程系统, 无法找到精确的数学模型来描述。传统的控制方式为了控制必须建模, 而利用不精确的模型又采用固定的控制算法, 使整个控制系统置于模型框架下, 缺乏灵活性、应变性, 很难胜任对此复杂系统的控制。在这种情况下, 模糊控制则充分显示了自身的优越性。因为在建立模糊控制规则时可利用人的知识和经验以及新的研究成果, 让计算机模拟人脑对模糊事物的处理能力, 进而完成其他控制方式无法处理的模糊信息, 实现具有智能化的模糊控制。

目前研究较多的是 Tsai, Y. P 等人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。活性污泥法出水 BOD 或 COD 浓度通常随出水悬浮物浓度增加而增大^[6]。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重要途径。回流污泥和进水流量的变化是影响出水悬浮物浓度的两个主要因素。由于污水厂规模和人们生活方式的不同, 城市污水处理厂的进水流量和底物浓度每天都在变化, 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。在这样一个复杂的动态系统中, 采用模糊控制理论取得了较好的控制效果。主要是因为系统中微生物的特点, 使每个变量之间存在高度非线性, 不能应用数学模型或模拟模型。因而也不能用传统控制理论来准确地控制, 另外, 系统中还存在两个误差, 一个是系统本身的误差, 另一个是在线传感器的误差, 模糊控制能合理地消除这些误差。研究者使用在线数据来合理的预测和控制系统也是一种较理想的方法。这是因为使用过去的在线监测数据构造模糊关系模型来推导最优的控制措施, 使输出的信息更接近于预先设定的目标值。系统的关系方程在新的监测数据的基础上可以重新构造, 这样就避免了由于系统随时间缓慢变化而对控制效果造成的影响。采用如图 2 所示的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。

对硝酸态氮污染水脱氮处理的新方法——生物电极法采用模糊控制, 也能取得较好的控制效果^[5, 7]。在生物电极法反应器脱氮过程中, 既有电化学反应, 又有微生物推进的生化反应, 并受到多种因素的影响, 尤其在进水水质、水量变化时。对于这样一个典型的具有非线性、时变性、随机

性和模糊性的复杂系统,很难应用传统的控制理论进行有效控制,而模糊控制理论正是解决这类复杂系统控制问题的有利工具。这项研究根据生物电极脱氮法在线模糊控制系统的组成与基本思想,系统地介绍了输入变量的模糊化处理 and 输出变量的非模化处理的计算方法,控制变量变化量的换算与计算方法,模糊控制器的设计及其计算机算法,其中包括模糊规则的建立,模糊控制计算机算法及其程序框图等。这种在线模糊控制器具有构造简单、可行性好、可靠性高和稳定性好,对进水硝酸态氮负荷变化的适应性强等优点,有利于避免过量地投加有机物并尽可能节省运行费用。

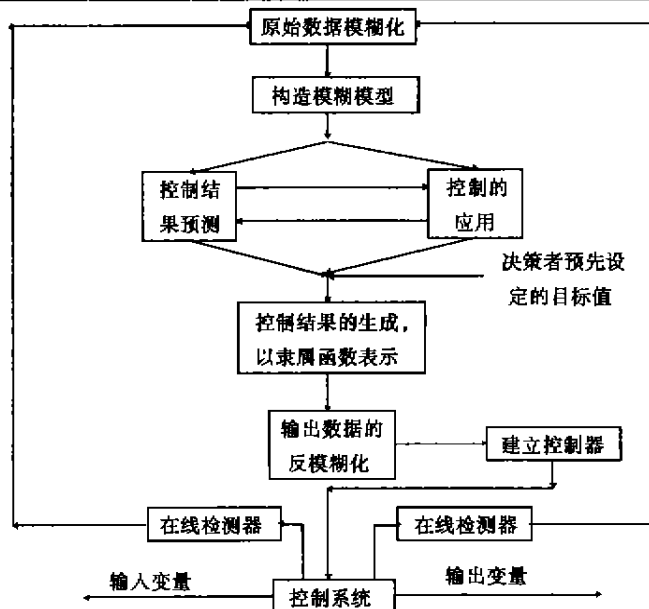


图2 在线模糊控制器的基本流程图

2 SBR 法的在线模糊控制系统

80年代以来,序批式活性污泥法(Sequencing Batch Reactor 简称SBR法)用于处理间歇排放的水质水量变化很大的工业废水取得了很大成功并被广泛应用。SBR法的主要缺点是运行管理复杂,只有实现SBR法的自动控制,才能发挥其优势。传统的控制方法主要是时间程序控制和流量程序控制。时间程序控制主要是根据SBR法的五个运行阶段即进水,反应,沉淀,排放,闲置所需时间进行预先设定后实施的自动控制。但是工业废水的水质水量随时间变化很大,有时其有机物浓度相差几倍甚至十几倍,如果按某一相同的反应时间控制SBR法运行,当进水浓度高时出水水质不合格,当进水浓度低时反应时间过长,既浪费了能耗又易于发生污泥膨胀。流量程序控制则是根据废水流量的变化调整各个阶段所需时间,并进行自动控制。这两种控制方法的缺点在于不能根据废水水质的实际变化情况及时调整某些运行参数,从而难于实现自适应的自动控制。而模糊控制则可以弥补这方面的不足。建立在模糊集合理论上的模糊控制,运用隶属函数来描述一些不确定的模糊的变量,又通过建立在模糊语言,模糊推理和模糊关系上的模糊控制规则,对非常复杂的动态过程进行模糊控制,能得到其他控制方式无法实现的控制结果。

将模糊控制应用于SBR法,主要是解决有机物降解,硝化与反硝化,生物除磷等四个生化反应过程的在线模糊控制问题。针对上述四个生化反应过程与特点,应当建立不同的模糊变量及隶属函数值、模糊关系、模糊控制规则和计算机算法;然后通过模拟试验加以验证反复修改,直到得到完整可靠的在线模糊控制系统及其计算机软件。可通过以下研究内容实现上述目标:

1. 选择能够在线检测,响应时间短,精确度较高的氧化还原电位(ORP),溶解氧(DO)浓度和pH值作为SBR法反应过程的被控制变量。并通过大量反复的实验,明确在有机物降解,硝化与反硝化,微生物在过量摄取磷和释放磷等生物化学反应过程中ORP,DO浓度和pH值变化规律,以及与上述各生化反应之间的定量关系。

2. 根据上述实验结果,将ORP,DO和pH在上述四个生化反应过程中的变化用模糊变量来表示,即将被控制变量进行模糊化处理,得到三个模糊集合向量。

3. 在试验基础上,分析ORP,DO和pH这三个被控制变量与四个生化反应的关系,建立以模糊语言表示的模糊控制推理的合成规则和模糊控制规则。模糊控制规则的好坏直接关系到在线模糊控制的质量,因此,还需要通过后面的模拟试验反复修改模糊控制规则。

4. 在模糊控制规则的指导下, 经过模糊决策后, 得到模糊控制变量; 为了对被控制对象 SBR 处理系统施加精确的控制, 还需要将模糊控制变量转换为可以执行的准确量, 这就是设计模糊控制系统所必须的非模糊化处理。

5. 设计在线模糊控制的计算机算法及其程序: 将原始检测数据的采集与处理, 上述模糊控制过程, 用执行机构直接对 SBR 反应过程进行控制等整个运行过程, 用计算机及其软件系统来实现。这一步工作并不复杂, 但它也要随着模糊控制的修改与完善而相应改动。

6. 通过模拟试验来修改完善 SBR 法在线模糊控制系统: 模拟试验是检验控制系统性能好坏的唯一标准, 通过 SBR 法模糊控制的模拟试验结果, 修改其控制系统的某一部分或者全部, 并且这一修改过程要反复进行。

3 结论

综上所述, 模糊控制作为智能控制的一个分支, 在各种复杂的工程系统中充分显示了自身的优势。污水处理是适合于采用模糊控制的领域之一。将模糊控制应用于 SBR 法, 不仅能提高处理系统运行的可靠性与减少运行费用, 而且对进一步实现普通活性污泥法的在线模糊控制也有重要的理论意义与应用价值。

参 考 文 献

- 1 Zadeh, L. A. Fuzzy Sets and Their Application. New York, Academic Press, 1975
- 2 Mamdani, E. H. et al. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. Int. J. Man - Machine Studies, 1975(7): 1 ~ 13
- 3 李士通. 模糊控制·神经控制和智能控制论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996
- 4 菅野道夫. ファジィ制御. 日刊工業新聞社, 1997
- 5 彭永臻, 王淑莹, 周利. 生物电极脱氮法的在线模糊控制. I. 模糊控制系统的组成与基本思想. 中国给水排水, 1999(2): 19
- 6 Tsai, Y. P. et al. Effluent Suspended Solid Control of Activated Sludge Process by Fuzzy Control Approach, Wat. Enviro. Res. 1996, 68(6)
- 7 彭永臻, 王淑莹, 周利. 生物电极脱氮法的在线模糊控制 II. 模糊控制器的设计及其计算机算法. 中国给水排水, 1999(4): 19

On - Line Fuzzy Control on Wastewater Treatment System

Peng Yongzhen Zeng Wei Li Tanwei Gao Jingfeng

Abstract This project points out the feasibility, necessity and widely applying prospects on fuzzy control applied to the activated sludge method by analysing fuzzy control theory and the properties on the activated sludge method process, such as non-linear, uncertain, stochastic and so on. Especially to the sequencing batch reactor, the satisfying control effect can be obtained if fuzzy control is realized by the relationship between on-line detecting ORP, DO, pH and some biological reaction, such as organic matter removal, nitrification, denitrification, biological phosphorus removal and so on.

Key words fuzzy control; sequencing batch reactor; ORP; DO; pH