

城市污水处理系统的智能控制

彭永臻¹ 高景峰¹ 王淑莹¹

摘要: 对 80 年代以来, 国内外污水生物处理系统中智能控制的应用及开发进行了简单的回顾。简要分析了废水生物处理工艺难于控制的原因, 各控制系统的结构和特点。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, 国内在这方面尚处在起步阶段。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: 智能控制, 污水生物处理, 模糊控制, 神经网络控制, 专家系统

Intelligent control of wastewater treatment PROCESSES

Yongzhen Peng¹ Jingfeng Gao¹ Shuying Wang¹

Abstract: This paper reviews the applications of Intelligent Control (IC) in operation and control of biological wastewater treatment processes since the 1980's, and presents some reasons why control has been a difficult problem in these processes. Then the paper analyzes the classification, structure and characteristics of fuzzy control, artificial neural networks control and expert system for biological wastewater treatment as well as deficiencies of these IC, and provides future developing trends of IC in this field. It shows IC has been applied in nearly all aspects of biological wastewater treatment at abroad and we are now doing the initial work.

Keywords: Intelligent Control, Fuzzy Control, Artificial Neural Networks Control, Expert System, Biological Wastewater Treatment

1. 概论

智能控制是一个新兴的交叉学科, 它主要是人工智能与自动控制的交叉, 但却涵盖了系统论、信息论、控制论、计算机科学、人类工程学等多学科知识。智能控制在工程中的应用日益广泛与深入, 特别是近年来的研究成果更受世人瞩目。这是因为随着科学技术的发展, 许多工程系统与动态过程变得越来越复杂, 其共同特点是多变量、非线性、时变性与随机性。这样的过程变化使系统具有高度的不稳定性和模糊性, 以致于难于建立基本的数学模型, 因而也无法根据传统的控制理论进行有效的控制。而对这类复杂的动态系统进行智能控制, 能得到其他控制方式无法实现的令人满意的控制结果。

污水生物处理系统是以微生物处理为主体的动态过程, 它具有变量多与随机的影响因素多而造成的高度非线性与模糊性、进水水质水量变化引起的过程不稳定、不确定的动力学模型、缺乏可靠的实时监测仪器、复杂的任务要求(例如, 要求处理水质达标、脱氮除磷、节省运行费用、防止污泥膨胀的发生等)等特性, 所以其自动控制效果一直不十分理想, 但是非常适合于采用具有自学习、自适应与自组织功能的智能控制。

作为智能控制重要分支的模糊²控制、神经网络控制、专家控制和自学习控制等, 除了应用到工

1 北京工业大学环境与能源工程学院教授, 博士, 博导
Department of Environmental Engineering, Beijing Polytechnic

2 基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50138010); 北京市自然科学基金项目(8002005)

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。本文对近年来智能控制在污水生物处理系统中的应用做一简单回顾。

2. 模糊控制在污水生物处理中的应用

自 1965 年 L.A.Zadeh 提出了模糊集合的概念以来,模糊集合理论发展十分迅速。1974 年, E.H.Mamdani 把模糊语言逻辑用于过程控制成功以后,仅仅 20 多年来,模糊控制在工业过程、家用电器以及高技术领域一系列成功的应用,充分地显示了模糊控制的巨大应用潜力。模糊控制主要是模仿人的控制经验而不是依赖于控制对象的模型,实现了人的某些智能。

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:

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 \tilde{e}

3. 根据模糊推理合成规则,由 \tilde{e} 和模糊控制规则及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 \tilde{u} 为 $\tilde{u} = \tilde{e} \circ R$

式中: $\tilde{\quad}$ 表示模糊变量; \circ 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 \tilde{u} 。

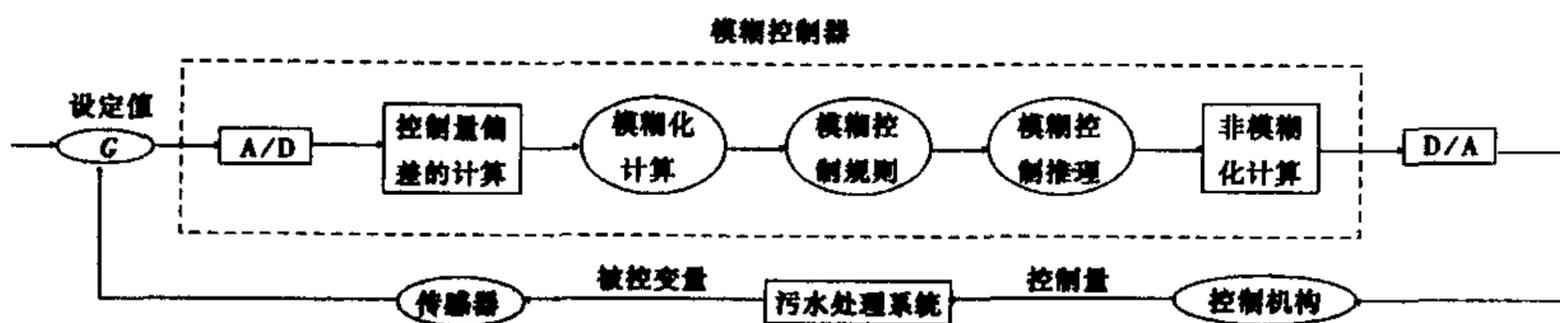


图 1 污水处理模糊控制系统的组成与原理示意图

4. 为了对被控对象施加精确地控制,将模糊控制变量 \tilde{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实行实时控制。然后在中断采样进行下一步的控制,实现其在线模糊控制。

R.M.Tong^[1], 1980, 首次将模糊控制应用到污水处理中。英国 Norwich 厂是一个采用活性污泥法并兼有硝化要求的二级污水处理厂。该厂常发生污泥膨胀和二沉池污泥上浮。可采用的局部控制措施有三类:调节曝气池 DO 浓度、调节污泥回流比、改变剩余污泥排放量。知识是从该厂运行管理人员的操作经验中获取的,这些知识反映的大多是定性的、语义模糊的信息,缺乏精确性。例如,关于过程状态的描述可能是“混合液悬浮固体浓度(MLSS)非常高”,或者“出水 BOD 浓度差不多合格”,而关于控制措施的描述可能是“减少一点剩余污泥排放量”或者“大幅增加溶解氧浓度”。Tong 等研究者运用模糊逻辑推理技术来解决这些用模糊命题表示规则的定量问题,通过模糊控制算法,引入隶属函数,使规则中定性的控制手段和状态变量与定量的控制信号和状态监测数据间建立起映射关系。步骤是:将出水 BOD、SS、曝气池 MLSS、DO 和回流污泥 SS 及出水氨氮浓度、回流污泥量等的监测数据作为输入变量输入该系统,“模糊化”以后再与规则集中进行匹配,随即确定可用规则

和相应控制手段。这些控制手段就是前述三类控制措施，最后通过反模糊化得到量化的具体信号对这三个变量进行调节。该系统的规则集包含 20 条规则，其中有 4 条用于处理污泥膨胀和污泥上浮的问题。Tong 等人用数学模式模拟该厂运行以测试该系统的效果，证明在该系统调控下，出水水质有了较大的改善。

T.Aoi 等^[2]，1992，用连续进出水，间歇硝化反硝化，使用超滤膜进行过滤的单池高负荷生物脱氮系统处理不经稀释的人粪尿废水，为达到稳定的脱氮效果，作者应用新型的自动氨氮检测器以及超滤膜（UF）取样器，应用了模糊控制。模糊控制器的输入变量为 DO，ORP，pH，NH₄-N，输出变量为空气流速。按处理厂的操作员的经验，给出模糊控制规则。模糊控制系统与 16 位的 PC 机及 PLC 联合工作，PC 机在 MS-DOS 方式下运行，采用商用模糊控制软件包。讨论了冲击高负荷对该控制系统的影响，结果表明此系统可以迅速采取对策。比较了常负荷条件下时间序列控制和模糊控制的稳定性，时间序列控制存在滞后，而模糊控制操作的非常稳定，并且很容易维持。

Y.P.Tsai，^{[3][4][5]}等，1993，1994，1996，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。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。

与常规活性污泥法相比，高纯氧活性污泥法（High Purity Oxygen Activated Sludge: HPO-AS）对控制的要求更严格。由于过程滞后和噪音干扰，此系统两种常规反馈控制在控制过程干扰方面存在困难，尤其是当干扰非常大的情况时，例如：暴雨来临时。为此 Mark T.Yin^[6]等人，1996，研究了四种模糊逻辑控制系统，结果表明，在正常条件下，模糊控制比常规的反馈控制系统更加的节约能源，减少 DO（Dissolved Oxygen）的波动，稳定进水流量以及出气的流速。其中一种直接控制策略，前馈曝气机的速度，反馈第 4 曝气池的 DO，是这 4 种模糊控制系统中最有效的。对没有变速曝气机的污水厂，基于进水流速的前馈控制可以调整第一曝气池的压力设定值，同时如果配合以第四曝气池的 DO 反馈控制，则这种系统就是最好的。为了解决暴雨来临的情况还开发了一种自适应模糊逻辑控制系统，这种系统可以在进水流速有很大的变化的时候自动将系统调整至一个新的状态。雨天的时候此系统可以阻止 DO 的损耗，在晴天的时候，可以节约氧气和能量。

A.Muller^[7]，1997，由于生化处理在突然的进水水质含毒物以及负荷的变化的情况下处理水质很容易就不达标。为此他们开发出一个基于模糊逻辑的在线实时控制系统。此系统由两部分组成：判断部分和控制部分。首先，通过将前部探头的信号与初始训练的数据进行比较对干扰的性质和强度进行分析。通过这种方式对处理厂的状态进行了模糊评价。模糊控制规则根据此评价结果决定控制策略以尽量减少进水的冲击。控制行是将三种方法结合使用：使用调节池；用出水将部分进水稀释；进水超越厌氧消化池。模糊控制系统在一个试验工场进行设计和测试。在此，给以各种负荷以及各种毒物的进水水质的冲击以进行判断部分的训练，然后进行整个控制器的测试。模糊评价单元是基于模糊辨识前置厌氧预审器中氢气和沼气的流速，选择了四种典型的行为（正常，超负荷，有毒，抑制）进行了训练。模糊控制使用者以此作为前提来激活两条规则：防止和恢复，这两条规则决定了控制行为（贮存，稀释，超越）。模糊控制实验用实际废水进行，以阴离子的 Tensid 作为毒物进行

试验。用冲击负荷试验对比了应用模糊控制进行调控的系统与不调控系统的效果,模糊控制系统可以将 44% 的含毒废水转移进调节池,这样污水处理的冲击负荷减少了 47%。

Chunsheng Fu^[8]等人,1998,应用模糊控制对传统活性污泥法出水 COD 进行控制,详细地研究了如何在一个实际的活性污泥污水处理过程建立模糊控制系统。他们选取进水流量,进水 COD,污泥量,反应器中的 MLSS 和 OUR 作为模糊控制系统的输入变量,以出水 COD 和回流污泥量作为输出变量,在先前的一些在线测量和离线的样品数据并综合将一些过程操作经验的基础上建立控制规则。将模糊控制系统与同一过程的动力学数学模型的仿真结果进行比较,令人满意。

S.A.Manesis^[9]等人,1998,对一个前置反硝化污水处理厂,为达到出水合格,进行了模糊控制的设计,他们以反应器中的氨氮,硝态氮,溶解氧,温度,污泥浓度以及二沉池进出水 BOD 的差值作为模糊控制系统的输入变量,以曝气区供氧速率,好氧区向缺氧区的回流速率,二沉池向反应器的污泥回流速率作为输出变量,以处理厂操作人员的经验建立模糊控制规则。在希腊 Patras 污水处理厂进行了仿真,并进行了广泛的检验,结果表明此系统在培训新操作人员时非常有效。

彭永臻^{[10][11]},1999,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。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地控制。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,系统的介绍了输入变量的非模糊化处理和输出变量的非模糊化处理的计算方法,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,其中包括模糊规则地建立,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,对进水硝态氮负荷变化的适应性强等优点,有利于避免过量的投加有机物并尽可能节省运行费用。

W.C.Chang^[12]等人,1998,在强化生物除磷(EBPR)污水处理厂中开发了污泥前循环(sludge pre-recycle)模糊控制策略,以此来达到 1: 正确的控制厌氧区的 $(F/M)_{AN}$ 。2: 尽量去除二沉池的水力负荷波动(shock)。研究者对比了这种模糊控制策略和传统的 $(F/M)_{AN}$ 控制策略。结果表明:在相同的 $(F/M)_{AN}$ 条件下这两种控制策略得到的出水溶解性 COD 和磷浓度基本相同。然而,可靠性分析表明,模糊控制策略由于减少了二沉池的水力负荷的波动,因此出水 TSS 比传统的 $(F/M)_{AN}$ 控制方式好得多。传统的控制策略是只保持 $(F/M)_{AN}$ 恒定。而通过将水力负荷的因素引入控制系统使得模糊控制策略更有效,模糊控制策略有两个输入: $(F/M)_{AN}$ 和 Q_R 。因此在高负荷期这种策略可以尽量地减少二沉池的水力负荷,并使 $(F/M)_{AN}$ 仍保持在正常的水平。推荐使用模糊控制策略。

J. Ferrer^[13],1998,将基于模糊逻辑的曝气控制系统应用于 BARDENPHO 的主曝气池,将此系统与两个普通曝气过程控制器相比较:一级与二级曝气水平开/关控制器,结果表明此控制系统比一级水平开/关控制器节能约 40%,并获得了更加稳定的代谢反应。应用此 AFLBC(Aeration Fuzzy Logic Based Controller)系统可以实现总体节能 60%。

彭永臻,曾薇^[14]等,1999,采用 SBR 法处理石油化工废水,根据反应器内有机物降解与溶解氧浓度(DO)的相关性,提出了以 DO 作为 SBR 法的模糊控制参数。通过大量试验,总结出反应初始阶段(8~10min)溶解氧浓度不仅能够间接地反映进水有机物浓度(COD),而且对整个反应过程都有重要影响。溶解氧的高低主要受曝气量大小控制,因此可根据初始阶段溶解氧的浓度及变化情况预测进水有机物浓度,进而实现对曝气量的模糊控制。同时,还发现当有机物不再被降解时,DO 迅速大幅度升高,可根据 DO 变化这一特点实现对反应时间的模糊控制。

Joo-Hwa Tay^[15]等人,2000,在一个神经模糊模型的基础上,为污水厌氧处理系统开发出一个快速预测神经模糊模型来预测高速率厌氧系统对干扰的响应,此系统可以提前一个小时对不同系统的干扰进行预测。研究者将此预测系统应用于三个实验室模型:AFBR(厌氧流动床);AF(厌氧滤池);UASB(上向流厌氧污泥床)。在所有这些例子中,此预测控制系统都从训练模式得到了很好的训练并且展示了即好且快的预测能力,对 OLR(有机负荷率)和 HLR(水力负荷率)的冲击有良好的反

应。试验表明此系统对各种系统配置和操作条件有很好的适应能力,在实时系统控制上有很大的应用潜力。

高景峰^[16], 2001, 针对 SBR 法广泛的应用于水质水量变化很大的工业废水处理中, 但是其传统的时间程序控制非常浪费, 为了实现以出水水质为目标的在线模糊控制, 系统深入地研究了不同进水氨氮浓度, 不同进水有机物浓度, 不同污泥浓度, 不同曝气量, 不同碱度类型和浓度对 SBR 法去除有机物和硝化过程中 DO、ORP 和 pH 的变化规律, 发现 DO、ORP 和 pH 都可以作为 SBR 法去除有机物结束的标志, 而 DO 和 pH 还可以作为硝化结束的标志, DO 还可以用来优化调控反应过程中的曝气量; 通过研究不同啤酒废水投加量、乙酸钠、甲醇和内源呼吸碳源对反硝化过程中 pH 和 ORP 变化规律的影响, 发现 pH 和 ORP 可以用来共同控制反硝化时间, 通过比较 pH 不同的变化速率还可以调控 SBR 法反硝化的碳源投加。在以上试验的基础上, 给出 SBR 法去除有机物、硝化和反硝化的模糊控制规则。

3. 人工神经网络控制在污水生物处理中的应用

人工神经网络是一个并行和分布式的信息处理网络结构, 该网络结构一般有许多神经元组成, 每个神经元有一个单一的输出, 他可以连接到很多其它的神经元, 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。人工神经网络主要是从功能上对生物神经网络的一种模拟和近似, 如学习识别控制等功能。按照不同的判据对 ANNs 可以进行多种划分, 如他们的学习方法 (有监督还是无监督), 结构 (前向或回归), 输出类型 (二值或连续), 结点类型 (统一或混合), 实现 (软件或硬件), 连接权 (可调或硬线路实现), 运算 (生物激发或心理激发) 等。迄今为止, 出现了数十种主要的网络结构和各种各样的网络学习算法

神经网络是介于符号推理与数值计算之间的一种数学工具。它具有很好的适应能力和学习能力。从本质上看神经网络是一种不依赖模型的自适应函数估计器。给定一个输入, 可以得到一个输出, 但它并不依赖于模型, 即他不需要知道输出和输入之间存在着怎样的数学关系。当给定的输入并不是原来训练的输入时, 神经网络也能给出合适的输出, 即它具有插值功能和适应功能。在神经网络中, 知识是通过学习例子而分布地存储在网络中。正是由于这一点, 神经网络具有很好的容错能力, 当个别处理单元损坏时, 对网络的整体行为只有很小的影响, 而不会影响整个系统的正常工作。

在活性污泥法污水处理厂中, 污泥膨胀是影响处理效果的一个非常主要的原因。虽然已经从微生物的角度对此进行了大量的研究, 但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。A.G.Capodaglio^[17]等人, 1991, 应用系统辨识技术对这种现象进行了模型化的处理。他们选用 SVI 作为污泥膨胀的指标, 用此指标来描述污泥膨胀不必分辨不同的膨胀类型以及生物反应动力学; 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, 污泥龄和其它描述混合液条件的参数作为训练数据, 建立随机模型 (Stochastic Models), 包括两种: ARMA (stochastic Auto-Regressive, Moving-Average) 自回归滑动平均模型和 ARTF (Auto-Regressive, Transfer Function process) 自回归传递函数模型, 以及人工神经元模型 (Artificial Neural Network Models)。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, 曝气池中的 DO, 曝气池中的 T, F/M; 这些模型的输出都是 SVI。ANNs 模型的 5 个输入量每一个都含有 5 个值, 表示前 5 天的参数值, 即 ANNs 为 25 输入, 1 输出。选用 20 天的时间进行预测对比, 用这 3 个模型预测下一天的 SVI, 诊断污泥膨胀发生的可能。比较其它四种预测技术与这三个模型的差别, 结果表明这三个模型都产生产生了非常准确的结果, 远远超过了其他方法。

Martin Cote^[18]等人, 1995 为了提高一个根据 ASM1 (Activated Sludge Model No.1) 简化而来的动力学模型的准确性, 将它与黑箱 (此处为 ANNs) 联合应用, 首先用下山算法对模型的参数进行了优化使预测值与实测值的误差平方和最小, 优化各参数的过程表明此机理模型的准确性, 尤其是对曝气池中 DO 浓度的预测。第二步用英国 Norwich 污水处理厂的数据驯化人工神经网络 (ANNs), 用它来预测优化机理模型的剩余误差。在英国 Norwich 污水处理厂应用这个混合模型进行仿真, 结

果表明, 它可以对 ASP 的主要 5 个参数 (出水 SS, COD_T, NH₄, 曝气池中的 DO, 回流污泥中的 VSS) 中产生了精确的预测。此研究表明人工神经元与机理模型的结合可以在不增加模型复杂程度的情况下增加系统的预测功能。

此外 Yu Ruey Fang^[19], Hong Zhao^{[20][21]}, 郭劲松^[22]等人也分别将神经网络系统应用于各自的处理系统中, 取得了较好的控制效果, 限于篇幅, 此处略。

4. 专家系统在污水生物处理中的应用

专家系统是一种基于知识的系统, 它主要面临的是各种非结构化的问题, 尤其是能处理定性的、启发式或不确定的知识信息, 经过各种推理达到系统的任务目标。专家系统的基本组成结构如图 2。

由图 2 可知, 知识库和推理机是专家系统的两个主要组成要素。

知识库存放着作为专家经验的判断性知识, 以及对于推理求解知识的各种控制知识。知识库中还包括另一类叙述性的知识, 也称作数据, 用于说明问题的状态、有关的事实和概念、当前的条件以及常识。完整的知识库还应包括具有管理功能的软件系统, 主要对知识条目进行查询、检索、增删、修改和扩充等操作。

推理机实际上是一个运用知识库中提供的两类知识, 基于某种通用的问题求解模型, 进行自动推理, 求解问题的计算机软件系统。它包括一个解释程序, 用于决定如何使用判断性知识推导新的知识, 还包括一个调度程序, 用于决定判断性知识的使用次序。

Shoji Watanabe^[23], 1993 为传统城市二级污水处理厂研制了智能操作支持系统 (Intelligent Operation Support System: IOSS), 此系统包括物理模型, 成像过程, 知识工程 (模糊控制理论和神经网络)。在此之前他们已经将 IOSS 系统成功地应用于给水处理的混凝投药的控制。此 IOSS 系统包括管理系统和控制系统两部分。数据库包括进水流速, MLSS, 曝气量, 微生物的照片等等, 离线数据为人工分析结果和人眼观察的结果。知识库包括从历史数据以 ANNs 方式得到的科学规律推理产生的规则。为了取得在线微生物照片, 特别开发研制了一种水下显微镜, 并应用在实际的污水处理厂中, 通过将照片与推断的信息联合在一起, 应用 Kyoto 大学的 SACCESS 软件来精确推理和数据分析丝状菌的形状, 用模糊推理来判断污泥膨胀的问题, 之后, IOSS 提供措施来控制膨胀之类的不正常的现象。此系统可以为操作者提供指导和控制信息。此外, 他们还开发了诊断探头故障的方法。仿真结果表明, IOSS 是非常有效的。

许多污水处理厂所面临的问题就是对干扰的辨识太慢, 并且作出的决定不够正确。德国 Braunschweig 市市政工程学院的 Gosta Ladiges^[24]等人从 1988 年开始开发专家系统, 首先开发出在线专家系统 (On-Line Expert System), 然后又开发了离线专家系统 (Off-Line Expert System)。1991 年, 在线专家系统就应用在 Salzgitter-Bad 市的传统二级污水处理系统, 并且在不断地改进。此系统的开发是基于 PC 机的; 界面友好, 以便使不懂太多计算机知识的人也能轻松使用, 此 ES 不是直接控制污水处理厂而是给操作者以建议和消息。此 ES 按实验室量测的氨氮来对硝化进行诊断; 通过出水浊度的检测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; 按现在的水流速泵的状态阀的信号来控制回流泵, 不断地监视回流污泥检测发生污泥流失的原因预防其发生。

1992 年此课题组又开发了离线专家系统, 此系统针对前置厌氧区的同时脱氮除磷的污水处理系统, 这个系统没有数据采集功能。它有两个任务: 1: 通过发现和解决现在正在发生和仿真的问题而

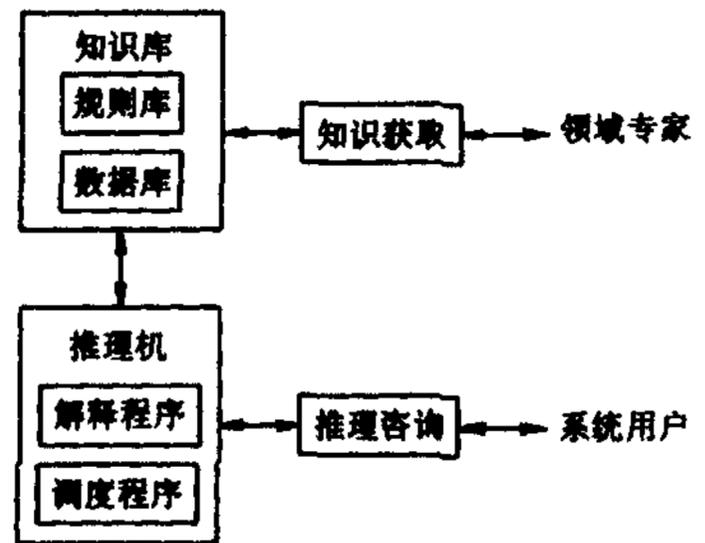


图 2 专家系统的基本组成

给出支持。2: 发现需要的控制参数和策略, 例如优选 SRT 或给出建议。这个系统主要是为了解决去除营养物质而作的, 包括不同问题的解决部分, 例如脱氮、除磷、泥水分离和污泥膨胀。这个课题的下一部分就是将这些不同部分连在一起形成一个新的整体。

这两个 ES 之间可以互调, 互相支持, 只是工作域稍有不同。这两个 ES 的瓶颈问题就是数据采集, 准备知识和将知识进行综合总结。并且现在开发的这些 ES 都是针对特定的处理系统而言的, 将来的发展就是将 ES 与有效的模型结合在一起以使系统自动与处理厂相结合产生自适应。并且还可以将 ES 与模糊控制和人工智能结合在一起。

此外, K.R.Stimson^[25], Naci H.Ozgur 和 Michael K.Stenstrom^[26], Sung Woo Nam^[27], H.G.Chong 和 W.J.Walley^[28], Miquel Sanchez^[29]等人, T.Ohtsuki^[30], J.Baeza^[31]等人也开发出各具特色的专家系统, 取得了较好的控制效果。限于篇幅, 此处略。

5. 结论和展望

综上所述, 智能控制在污水生物处理各个方面的应用在 80 年代以来越来越广泛, 其中模糊控制和专家系统的应用最多, 国内在污水生物处理的智能控制方面的研制远远落后于国外, 应该迎头赶上。

模糊控制、人工神经网络控制和专家系统等智能控制方法本身都是新兴的学科, 尚处在发展的初级阶段, 还未形成完整的理论和体系。应该不断地跟踪智能控制的发展将其及时应用到污水生物处理系统中。

污水处理厂设计工艺千差万别, 污水水质水量差异巨大, 污水生物处理很大程度上受控于菌群的特性, 即使是同一系统在不同的出水水质要求以及不同的运行阶段其控制要求也不尽相同, 应根据具体的情况开发出各自合适的控制系统, 增添自适应, 自学习功能。综合利用模糊控制、人工神经网络控制和专家系统等智能控制系统的优点, 克服它们各自的缺陷, 达到最终的控制目标。

参考文献: (略)