

煤化工SBR池污水处理智能化控制系统的研究与应用

文/贺海波 赵中峰 陈吉 杜洋芋 苏强
中煤陕西榆林能源化工有限公司

摘要：目前污水处理效果全部依赖于个人经验，具有很多问题。污水处理系统运行过程中，如何控制其长期满负荷运行是一个业界难题。拟通过数据分析与软件建模和算法技术研究，实现对污水装置满负荷、智能化运行，降低劳动强度，为主装置的稳定运行提供有力保障。

关键词：污水处理；SBR；实时监测；自动控制；智能化

必要性和意义

SBR是序批间歇式活性污泥法（Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Process）的简称，其处理机理和活性污泥法相同。SBR的含义是在单一的反应器内，按照时间顺序进行进水、反应、静置、排水及闲置五个阶段的操作，从进水到闲置为一个周期。这种周期周而复始，完成序批式处理。

SBR工艺优点是运行方式灵活、抗冲击能力大，缺点是工艺操作复杂、难于管理，以及污水处理过程难以控制。

1) 污水处理过程中的进水流量波动大，进水组分复杂，天气干扰严重，微生物反应机理不明确，成分反应不平稳、使得人工控制的方法比较粗糙，常常出现滞后，难以达到效果。

2) 污水处理中难以获取部分关键状态变量，难以得到对象的精确数学模型，无法确定精确的控制方案，导致无法有效地实现闭环控制。

3) 污水处理过程扰动大，时常运行在非平稳状态，并且污水处理过程中参数众多，变化复杂，是一个多变量、多参数的对象，因此要实现精确的在线控制难度非常大，且能耗过大。

4) 污水处理控制是一个具有约束的优化跟踪过程，如何在保证除污效果良好的前提下实现较低

能耗，是一个非常复杂的问题。

目前污水处理效果全部依赖于个人经验，只有当污水处理系统受到冲击后才能发现情况再去处理，具有滞后性。另外，由于微生物对外界环境刺激的反应较为敏感，其数量和活性不容易恢复。因此，如何控制污水处理系统长期满负荷运行是一个业界难题。该课题通过数据分析与软件建模和算法技术研究，实现污水装置的满负荷、智能化运行，降低劳动强度，为主装置的稳定运行提供有力保障。

实施方案及关键技术

1. 实施方案及思路

该方案采用结构化查询语言（SQL）数据库搭建了污水处理过程实时监测系统的底层数据库结构，将污水处理过程水质参数存储到SQL数据库中，利用ADO技术及数据源（数据库互联）配置，建立与人机界面（HMI）的数据通信，并建立与AM500系统组态的连接；利用实时显示功能，为用户提供实时有效的污水处理过程水质数据；建立数据库与界面及控制系统之间的数据通信，进行污水处理过程中的智能控制及水质分析等操作，从而实现污水处理过程中的智能控制。功能实现流程如图1所示。

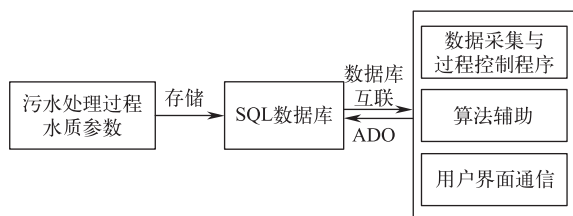


图1 功能实现流程

基于 Windows 系统自主开发了HMI模块，作为实现自动化控制的软件平台和开发环境，实现工业数据采集、过程监控和数据管理的组态监控。通过UI模块搭建污水处理过程监控画面系统，为用户提供污水处理过程实时的运行状态及数据。HMI主要包括登录界面、报警管理及污水处理过程界面等。

采用以太网通信方式，通过OPC接口获取现场生产数据，用于与人机界面、过程数据采集进行交互。使用ADO作为数据库编程接口。ADO需结合SQL专用驱动程序标准接口编写程序，通过接口访问SQL数据库。

2. 网络架构

污水处理智能化控制系统的服务器连接工控网的交换机，通过OPC服务器读取污水处理（AM500）工控系统数据。网络架构如图2所示。

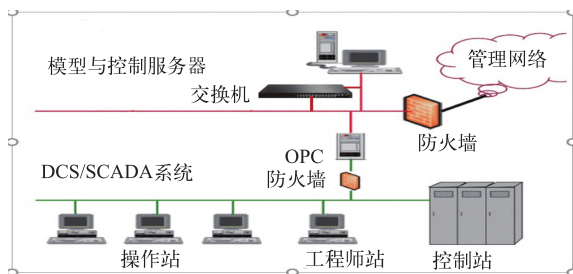


图2 网络架构

3. 通信架构

通信架构如图3所示。

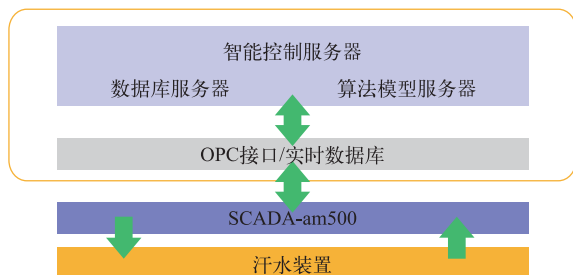


图3 通信架构

4. 核心软件描述

核心软件描述见表1。

表1 核心软件描述

名称	功能描述
APC智能控制器、Matlab	APC智能控制策略包括模糊算法、神经网络算法；过程算法辅助
OPC接口、MySQL	与实时数据库、SCADA-am500进行数据通信、访问；存储数据

5. 数据采集与过程控制设计

数据采集与过程控制程序模块提供的用户操作界面，可实现监控层的各项功能，并与工控网络打通，向控制层和管理层提供软硬件的接口，可在办公网环境下进行课题程序测试和验证，便于后期在工控网环境的项目实施。

(1) 主界面

主界面包括主要污水处理工艺流程及相关参数，如参数设定、曲线查询、报警及手动操作等，方便操作人员进入相关的功能界面。

(2) 趋势一览界面

趋势曲线分为历史趋势曲线和实时曲线，是模拟量随时间变化的趋势记录曲线，直观反映数据走势，通过趋势曲线可分析生产的变化过程。

(3) 报警界面

报警设置是该模块中必不可少的部分，包括对关键参数、关键动作的实时预警，提供可视化的提醒，帮助操作人员快速辨别并定位故障源。

(4) 电子报表

自动记录关键指标数据，减轻中控室操作人员手动填写报表的负担，使其将更多的精力放在监控生产上，同时为生产管理人员提供有效的分析工具。

6. 模糊控制器设计

本系统中模糊控制器的功能是控制污水处理过程中的各相关变量，对其进行合理的调整。模糊控制器是在前馈预测控制的前提下，为实现精准污水控制而对污水浓度进行细微调整。基本原理如图4所示。污水处理过程中对各相关量先进行模糊化处理，然后结合经验规则进行推理，之后对推理的结果进行反模糊化处理，最后得出人们可以理解的表达并进行控制。

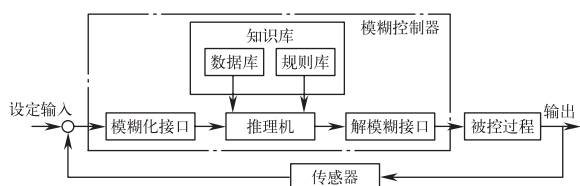


图4 模糊控制基本原理图

7. 神经网络控制器的设计

神经网络采用一层一层的神经元形成特殊的内部复杂关联的拓扑结构，可有效提取非线性、不确定性、随机性及延迟较大的数据潜藏的高价值信息，而神经网络控制就是将神经网络提取的高价值信息提供给控制系统或作为控制系统的优化，从而获得更加符合客观实际的控制策略和控制指令，得到更优的结果。神经网络控制系统的基本结构如图5所示，相关输入数据及控制预期的差异进入神经网络得出结果后，再输入控制器得出一个控制输出，控制输出又反馈回来作为纠偏的数据，从而一步一步接近目标。神经网络控制在最优化、识别分析和稳定性上都表现出非常不错的效果。

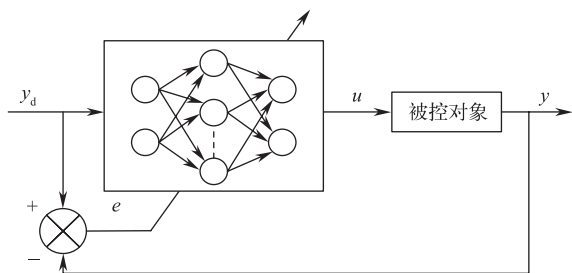


图5 神经网络控制系统基本结构

设输入 u 和输出 y 存在函数关系为

$$y=g(u) \quad (1)$$

设输入 u 和期望的输出 y_d 在神经网络系统中存在函数关系为

$$u=f(y_d) \quad (2)$$

为达到控制目标，设输出 y 等于期望的输出 y_d ，将式（2）代入式（1）中得到

$$y=g[f(y_d)] \quad (3)$$

当 $f(\cdot)=g^{-1}(\cdot)$ 时，即可满足要求。

8. 模糊神经网络设计

神经网络对于不确定性、随机性及延迟较大的数据的处理有优势，而模糊理论适用于可公式化和结构化的问题处理，神经网络和模糊理论相结合可取长补短，在控制方面比传统的控制系统显示出更

良好的效果。

因此，本课题围绕神经网络，对系统的关键变量和状态进行模糊逻辑判断，将模糊控制器的输出变量输入到神经网络系统中，模糊控制器将输入溶解氧浓度、SBR池液位、风机调节阀状态等变量参数，经由模糊神经网络控制器后形成相应的控制指令及策略，模糊神经网络结构如图6所示。

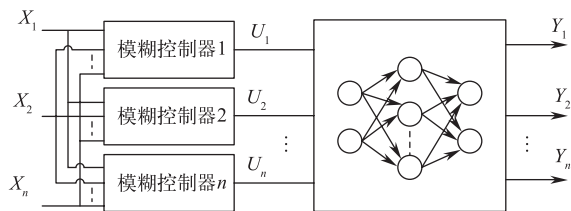


图6 模糊神经网络结构

实际应用效果及创新性

针对煤化工SBR污水处理工艺，本课题自主开发了自动化、智能化和可视化运行系统，已连续运行达12个月，状态稳定良好，有效降低了员工劳动强度，减少了误操作的发生，降低个人经验对污水稳定运行的影响，为煤化工行业提供了一种解决污水SBR实现自动控制的可行方法。

1) 煤制烯烃领域围绕SBR污水处理工艺首次实现无人化运行，同时实现进水阀、鼓风机、循环水泵、滗水器设备的自动控制，每天减少手动操作144次。

2) 通过大数据技术，实现关键指标变量DO提前5 min预测预警，为实现质量管控前移、事后处理转到事前处理创新工作模式打下坚实的基础。

3) 根据生产负荷自动调节风机电流大小，实现节能高效运行。

4) 开发了异常报警、日志记录及电子报表等功能，同时实现了装置运行关键节点或动作日志的直观可视化运行管理。

5) 完成了一项算法模型的发明专利申报。

项目投用和关键测试过程

1) 首先在分布式控制系统（DCS）上对此位号进行组态。

2) 单点调试逐一操作现场机泵、阀门等，现场查看设备的动作情况，将现场设备动作实际状态和控制室的智能程序指令作对比，调整程序参数，使

两者相一致。

3) 联机调试。对循环泵与配套阀门、鼓风机与配套阀门进行联动试运行,调整程序参数,使现场设备起停与阀门动作的时间间隔和程序给定的时间段相一致。

4) 对污水4#SBR池进水,起动循环水泵和相关阀门、鼓风机和相关阀门进行自动化试运行。

5) 第一关键点的确认。判断第一阶段反应区间运行时长和结束的标识是否合理。

6) 第二关键点的确认。判断溶解氧值对应的后续操作步骤是否满足实际情况。

7) 对停鼓风机和循环泵及关闭相应阀门进行自动化试运行。

8) 对下漉水器进行自动化试运行。

9) 对污水4#SBR池的一个完整周期进行自动化试运行,使4#SBR池能够满足生产需要。

10) 测试“一键切出”按钮功能。

11) 总结单个周期试运行情况,若情况良好,进行连续两个周期、两天或两周试运行,之后进行长期运行。

12) 切换至神经网络智能算法模型控制。

应急预案及注意事项

(1) 上位机引入神经网络控制初期部分指标可能出现一定程度的波动

1) 设置神经网络控制波动上下限,控制其在要求的上下限范围内。

2) 切换为条件模糊控制。

3) 停止智能控制,切换为手动控制。

(2) 上位机死机

1) 设置两台上位机,切换为另一台备用上位机(当前控制并不复杂,可暂切换人工手动控制,实验阶段结束后进入正式投运阶段再考虑备用上位机)。

2) 将上位机与下位机的网络连接断开。

3) 切换为人工手动控制。

(3) 上位机和DCS出现通信故障

1) 将上位机与下位机的网络连接断开。

2) 切换为人工手动控制。

(4) 其他原因导致DCS或SCADA系统崩溃

1) 停止智能控制,切换为人工手动控制,根据现有操作规程中DCS或SCADA系统崩溃的应急预案

进行处理。

2) 上位机与下位机的网络连接断开。

(5) 仪表测量点的信号中断

1) 在关键控制时段关键仪表测量点信号中断,停止智能控制,切换为人工手动控制,将上位机与下位机的网路连接断开。

2) 在非关键控制时段或非关键仪表测量点信号中断,查明原因,修复仪表测量点的信号。

(6) 工况大幅异常波动

1) 停止智能控制,切换为人工手动控制,将上位机与下位机的网络断开。

2) 记录经验丰富技术扎实的师傅处理异常工况的过程操作数据,让智能控制系统自主学习其处理经验。

(7) 自动控制程序错乱应急处理方案

1) 利用“一键切换”功能将相应SBR池切至“人工模式”,退出自动控制程序。

2) 检查程序出现错误的环节,以及现场实际运行时的异常。

3) 核实程序和实际运行工况的匹配程度,查找引起程序出现错乱的原因。

4) 分析程序出错的原因,调整程序的参数,增强自动控制程序的鲁棒性。

5) 现场试运行,测试程序的适应能力,测试期间技术人员现场跟踪,稳定运行3个周期后,进入正常运行阶段。

(8) 现场设备未自动起停应急处理方案

1) 程序发出设备未及时起动或停止报警。

2) 利用“一键切换”功能将SBR池切至“人工模式”,退出自动控制程序。

3) 按照人工模式继续运行,保证SBR池处理负荷不受影响。

4) 检修信号传输的线路。

5) 现场试运行,测试期间技术人员现场跟踪,保障通信正常。

(9) 分析仪表监测不准确应急处理方案

1) 利用“一键切换”功能将相应SBR池切至“人工模式”,退出自动控制程序。

2) 仪表维护人员检修现场仪表。

3) 现场试运行,测试期间技术人员现场跟踪,保障通信正常。EA