

Integration Automation System of Wastewater Treatment Plant

Ping Zhang^{1,2}, Mingzhe Yuan¹, Hong Wang¹, Guangping Yu^{1,2}

¹) Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039 (E-mail: zhangping696@sohu.com)

²) Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016 (E-mail: zhangping696@sohu.com)

Abstract—Wastewater treatment process is a very complicated process due to its highly nonlinear, seriously coupled, time-varying and frequent variations of operating conditions. The integrated automation system was developed to overcome the problems of high production cost and low removal efficiencies in wastewater treatment plant because of low automation level in China. According to production techniques and control requirements of wastewater treatment plant, combining with advanced control technique of wastewater treatment, an integration automation system was designed. The structure consisted of three layers. It has realized the optimization of overall production index including effluent quality and operation cost, production process automatization, management modernization. The proposed system has been successfully applied to a wastewater treatment plant and has realized optimal control, operation and management. Production cost and quality of wastewater have been decreased and improved greatly.

Keywords—wastewater treatment process, integrated automation system, optimal set-point control

污水处理厂综合自动化系统

张平^{1,2} 苑明哲¹ 王宏¹ 于广平^{1,2}

¹) 中国科学院研究生院 北京 100039

²) 中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016

摘要 污水处理过程具有非线性、强耦合、不确定性等特点，是一个典型的复杂过程。而且城市污水处理过程普遍存在自动化程度低、运行成本高的问题。根据污水处理厂的生产工艺和控制要求，结合国内外污水处理的先进控制技术，基于三层结构体系，提出了实现污水处理达标率、污水处理成本、生产过程自动化、经营管理现代化等指标得综合自动化系统。将所提出的系统应用于某城市污水处理厂，实现了污水处理过程的优化控制、优化运行和优化管理，降低了污水处理成本，提高了污水处理质量，取得了显著的应用成效。

关键词 污水处理过程，综合自动化系统，优化设定

1. 引言

随着水资源的日益短缺和对环境污染的日益重视，水污染成为人类迫切需要解决的问题之一。尤其是近年来，我国政府开始关注环境污染问题，特别是提出可持续发展战略后，政府在经济快速发展的同时也注意环境的保护和治理。城市污水处理也经历了迅猛的发展过程。但总的来看，城市污水处理还存在一些不足^[1]。

1) 过程控制系统(Process Control system-PCS)和管理信息系统(Management information system-MIS)分离。

许多城市污水处理厂在建立和规划管理信息系统时往往忽略控制系统的各类信息，使MS和MIS脱节，这必然会

导致：

- (1) 缺乏准确、及时的原始数据和情况分析；
 - (2) 信息冗余、准确性差、不畅通；
 - (3) 计划能力差，导致生产不均衡，影响出水水质和能源的合理利用；
- 2) 过程控制水平不够高，特别是优化控制、优化管理方面。

由于污水处理过程具有多变量强耦合、强非线性、参数时变、工况变化频繁、难于在线检测出水水质等特点，因而传统控制系统无法实现污水处理过程的优化控制、优

化运行和优化管理,造成污水处理后出水排放指标波动大,开通率和达标率低,处理成本高^[2]。污水处理过程控制和操作是否成功实施,关键是控制系统的设计问题,即如何将污水处理过程的操作运行和管理有机地和控制系统相集成,使其具备高度的自治性、灵活性和可靠性^[3]。文献^[4]指出:“降低生产成本、提高产品质量、减少环境污染和资源消耗,只能通过全流程自动控制系统的优化设计来实现”。工业过程综合自动化系统是解决上述问题的关键。

目前国内城市污水处理厂的自动控制系统仅仅是处理系统的设备开启和关闭的自动控制,数据的采集和收集及其自动显示等功能,尚缺乏工艺的自动控制,无法利用水质监测仪表把现代的计算机控制技术与生物化学反应特性结合起来,实现对生化系统的监视和控制。因此建立城市污水处理厂全面的生产数据采集、传输、分析、存储、管理的城市污水处理综合自动化系统,优化设定污水处理过程分布式计算机控制系统的污泥浓度、pH值、溶解氧浓度以及药剂数量等回路的设定值,使水质关键参数BOD、COD、NH₃-N达到排放标准,而且使污水处理厂的运行成本尽可能小,成为城市污水处理厂亟待解决的重大关键问题。本文采用文献^[5]所述的工业过程综合自动化系统体系构架,结合污水处理过程的生产特点,提出了优化污水处理达标率、污水处理成本、生产过程自动化、经营管理现代化等综合生产指标的污水处理过程综合自动化系统,并成功应用于某污水处理厂,成效显著。

2. 城市污水处理过程

如图1所示,典型的城市污水处理过程包括水处理和泥处理。水处理区包括一级处理单元、二级处理单元,在某些场合还需要三级处理单元。机械(一级)处理单元包括格栅、沉砂池、初沉池等构筑物,以去除粗大颗粒和悬浮物为目的。处理的原理是基于物理法实现固液分离,将污染物从污水中分离,这是普遍采用的污水处理方式。污水

生化处理属于二级处理,以去除不可悬浮物和可溶解、可生物降解有机物为主要目的。目前大多数城市污水处理厂都采用活性污泥法。在活性污泥处理系统中,有机污染物从污水中去除过程的实质是有机污染物作为营养物质被活性污泥微生物摄取、代谢与作用的过程,也就是所谓“活性污泥反应”的过程。这一过程主要是微生物起作用,完成有机物的分解和生物体的合成,将有机污染物转变成无害的气体产物(CO₂)、液体产物(水)以及富含有机物的固体产物(微生物群体或称生物污泥),多余的生物污泥在沉淀池中经沉淀法固液分离,从净化后的污水中除去。污水处理过程产生的污泥经污泥提升泵房提升到泥区,经过浓缩、消化、加药脱水处理后生成泥饼外运。

尽管污水入口水质和水量受外界环境因素(如季节、气候、生活习惯、毒素事件)影响很大,污水经过以上工序处理后,排放口出水指标必须达到规定的排污标准,因此污水处理过程的输入具有不可选择性,输出具有强制性。任何环节出现故障都将影响到整个处理过程的正常运行,为此必须制定合理的生产作业计划和生产调度,尤其是在工艺流程、设备类型和尺寸都已确定的情况下,关键工艺参数的调度尤为重要^[2]。在污水处理生产过程中,需要保证整个处理过程的连续运作,前后各处理单元紧密衔接,作业计划和调度存在流量负荷平衡和时间平衡问题。流量负荷平衡包括各工序生产负荷的确定、生产线的调整和启停等;时间平衡包括水处理区初沉池、生物曝气池、二沉池水力停留时间(h),生物曝气池污泥龄(d)以及泥处理线污泥消化时间(d)等。污水生产作业计划和生产调度实现各工序的计划管理,使其负荷均衡,药剂成本、能耗和其他各种损耗降低,从而降低生产成本。目前,多数污水处理厂完全是人工编制生产计划进行生产调度,效率低、计划调整不及时,导致污水处理过程生产效率、开通率和达标率低^[2]。

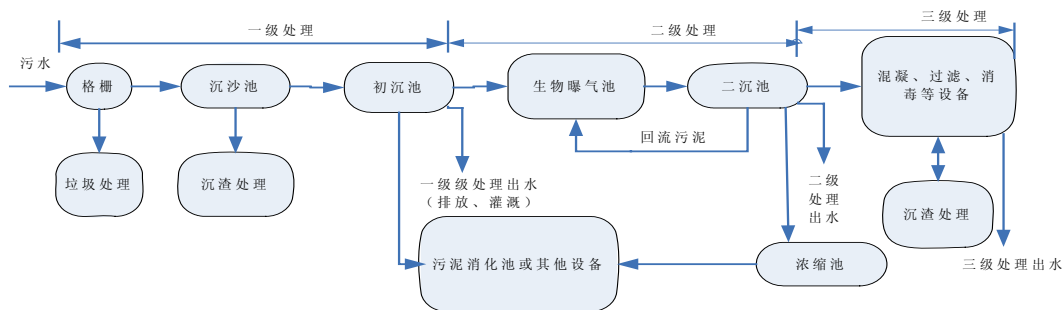


图1 典型的城市污水处理流程

3. 综合自动化系统的设计

3.1 体系结构

本文采用文献^[5]提出的工业过程综合自动化系统的体系架构,结合城市污水处理生产过程特点,提出了如图2所示的实现污水处理达标率、污水处理成本、生产过程自动化、经营管理现代化等综合生产指标优化的综合自动化系统。综合自动化系统设计的指导思想是:先进的技术,运行可靠,操作简单,管理分等级;开放的、可扩展的系统;工艺过程控制功能包括:数据采集、归纳、整理等监测功能,优化设定、优化控制功能,工业监视功能,管理功能,事故及隐患报警功能。整个系统由计算机支撑系统、经营计划系统(BPS)、生产执行系统(MES)和生产过程自动化系统(PCS)4部分组成,如图2所示。

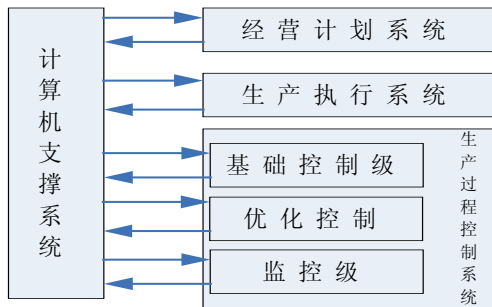


图2 污水处理过程综合自动化系统结构

其中:

(1) 计算机支撑系统为各应用子系统设计了良好的信息集成、共享和运行环境;计算机支撑系统由计算机管理网、控制网和实时数据库和关系数据库组成。管理网和控制网通过网关实现异构网络互连。实时数据和关系数据交换一般采用OPC, COM / DCOM, API等通用方法实现。

(2) 经营计划系统则是在计算机支撑系统的基础上,对企业的生产、人事、财务、设备和能源等方面的管理提出了设计方案;

(3) 生产执行系统具有承上启下的作用,将BPS、PCS通过网络和数据库系统来实现经营决策、生产过程管理和生产过程控制的信息集成;

(4) 生产过程自动化系统的设计主要包括基础自动化、优化控制系统和监控等方面的内容;

3.2 系统功能描述

3.2.1 经营计划系统

该子系统的基本组成主要包括:化验信息管理、财务管理、人事管理、设备养护维修、能源管理及综合查询6个系统,如图3所示。

(1) 化验信息管理的主要功能包括:送样管理、任务

管理、原始记录管理、化验报告管理;

(2) 财务管理系统功能包括:银行对账、账务管理、工资管理、固定资产管理、购货管理、存货管理;

(3) 人事管理系统功能包括:人员调动、统计分析、查询观看、数据录入;

(4) 设备养护维修系统功能包括:设备台账管理、设备维修定额管理、设备维修计划管理、备品备件管理、设备运转状况统计;

(5) 能源管理系统功能包括:能源计划管理、能源消耗记录;

(6) 综合查询系统功能包括:综合信息获取、综合信息查询、综合信息输出。

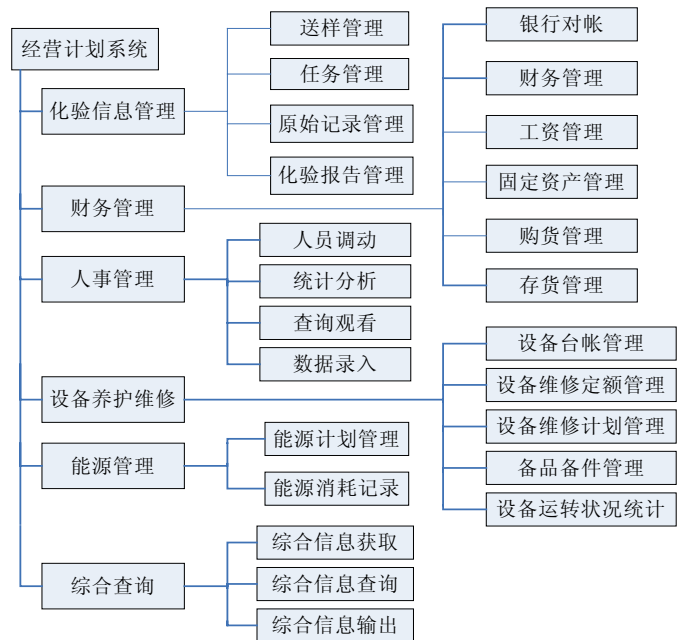


图3 污水处理综合自动化系统经营计划子系统结构

3.2.2 生产执行系统

生产执行系统(MES)功能如图4所示。主要包括:生产计划管理、设备运行管理、质量管理、生产调度管理,物料管理和成本管理。

根据污水达标率、处理成本、处理量等综合生产指标,对污水处理生产过程前机械预处理、一级处理、二级生化处理和污泥处理等工序制定生产作业计划、能源消耗计划、生产成本计划、产品质量计划和设备运行与维护计划等。生产计划管理子系统通过工艺过程仿真,把污水达标率、处理成本、处理量等综合生产指标分解转化为污水处理出水排污指标。根据生产作业计划,对污水处理生产过程进行实时调度,对生产完成情况进行数据统计和分析,以保证综合生产指标的完成。根据能源消耗计划,通过采

集生产过程中的能源消耗数据进行统计分析,实现能源消耗的控制。根据生产成本计划,对生产过程的物耗、能耗进行在线计量和成本预测,并与标准成本指标进行比较,实现生产过程工序成本控制,给出降低生产过程动态成本的操作指导。通过设备运行状况的实时监控,对设备运行状态进行预测,制定设备动态维修管理计划,确保生产设备的安全运行。根据生产调度管理,针对实际生产状况,完成对整个生产线的调度管理,使整个污水处理的生产过程组织合理化、作业协调化、生产连续化。根据质量管理体系,通过对进口水质检验、出口水质检验、水质统计等的采集和统计处理,对出水质量进行实时监控和管理,对生产过程的运行条件进行优化,保证在生产条件和流程发生变化时污水处理生产过程的优化运行。

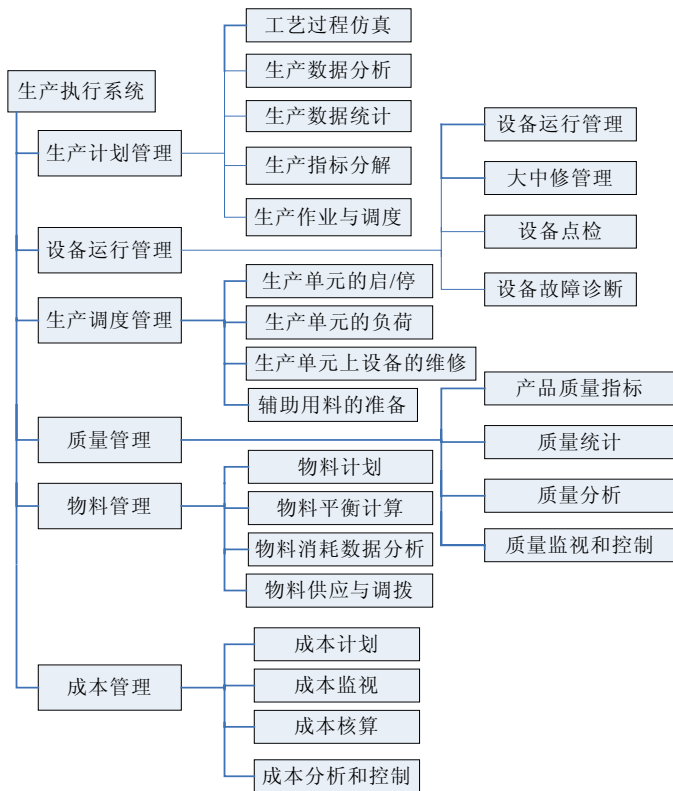


图4 污水处理综合自动化系统生产执行子系统结构

3.2.3 生产过程控制系统

PCS系统由基础自动化系统、优化控制系统和生产过程多媒体监控系统组成。基础自动化级把逻辑控制、顺序控制(如主要电气设备的启动、停止、连锁控制、设备状态报警等功能)和回路控制(如溶解氧浓度、液位、流量、浊度、PH值等工艺参数的采集、工艺调节、报警等功能)集成在一起进行控制,它构成了整个自动化系统的基础自动化部分。换句话说,基础自动化级主要具有数据采集和基础控制两种功能。该系统与多媒体监控系统共同对污水

预处理、一级处理、二级处理、污泥浓缩、消化和脱水过程的实际场景以及设备运行状态、关键工艺参数和趋势曲线进行实时监控,保证生产过程的稳定运行。优化控制系统分为两种结构。第一种为结合加热炉、稀土萃取分离过程、磨矿过程等系统的优化设定方法,根据污水处理厂的实际情况,将上述过程的优化控制方法应用于污水处理过程中,采用机理建模和神经网络方法,建立污水的混和液悬浮物(MLSS)、溶解氧(DO)、药剂投放量等的预设设定模型;采用推理控制方法和自适应控制方法,建立上述设定值与COD、NH₃-N之间的预报模型;采用模糊控制方法研究利用控制系统输出值与预测模型的预设值之间的误差进行设定值前馈补偿的合适算法,如图5所示。

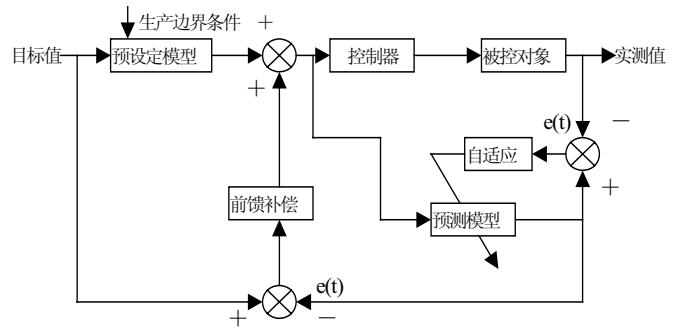


图5 优化设定控制方法结构

第二种优化方法为根据活性污泥数学模型和国际水协发布的 benchmark,结合污水厂所处地区的水质和气温等环境特点,对模型参数进行校正,建立适合于该污水处理厂的污水处理过程的数学模型。在此基础上实施优化控制。优化直接以污水处理成本为目标,以污水处理过程中所消耗的能量为目标函数。根据反馈得到的出水水质的预测信息,对控制器的控制策略和控制参数做出及时调整,在保证出水合格的前提下,做到了节能,使各个设备始终处于最佳运行状态。图6给出了基于模型应用的优化系统结构。

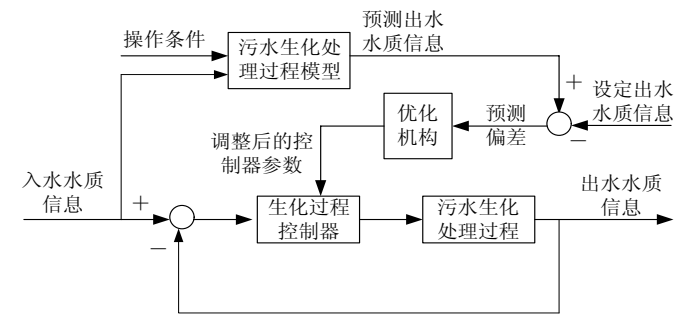


图6 基于模型应用的优化系统结构

3.3.4 监控系统

监控系统分为三种形式。第一种监控系统设于中央控制室内，通过 Profibus 网络连接两台计算机作为总工程师的人机界面接口(HMI)，通过数据总线采集现场 PLC 传送的各类数据和信号，主要实现数据检测、存储、报表打印、故障报警以及生产过程动态监视、趋势曲线绘制、设定值修改等数据处理和过程监视功能。采用 Wincc 工控组态软件来实时监测整个系统，其工艺流程图生动形象，操作人员可以一目了然地了解现场工艺、设备的运行状况，并根据工艺情况随时在线修改参数，从而实现对整个水厂的生产过程进行全方位的管理和监控。第二种是多媒体监控，多媒体监控系统是集现场监视、控制报警以及过程数据监视管理于一体的组合式开放系统。它把摄像技术、计算机多媒体技术以及智能数据采集和处理技术有机结合在一起，可以对视频进行操作。根据工程要求，在现场安装一定数量的摄像头。监控中心设在中央控室，便于操作者全方位的监视生产过程。第三种是远程监控，如图 7 所示。远程监控是指通过通信网络利用本地计算机系统实现对远程生产过程的监视和控制。对于一些大型的污水处理厂运营商，同时经营管理着多座污水处理厂，作为管理决策层就需要同时监视和控制所有污水处理厂的运行状况。有了远程监控系统，就可以轻松的实现对多个污水厂的监控。另外，远程监控系统还可以节约人力资源，降低这些大型的污水处理厂运营商的运营成本。如果没有远程监控，运营商就需要为所运营的每个污水处理厂专门配置相应的设备维护人员。但是设备毕竟不是经常发生故障的，大多数的时候还是正常运转的。这时候，就会造成这些设备维护人员的浪费。有了远程监控系统，就可以所有的污水处理厂只配置一套设备维护人员。通过远程监控系统对运营的所有污水处理厂进行监控，一旦发现某个污水处理厂出现了设备故障的情况，就可以让设备维护人员前去维修。这就大大节约了人力资源，降低了运营成本。远程监控系统也可以作为环保局等政府机构，对某个地区所有污水处理厂的运行状况进行监视的系统。

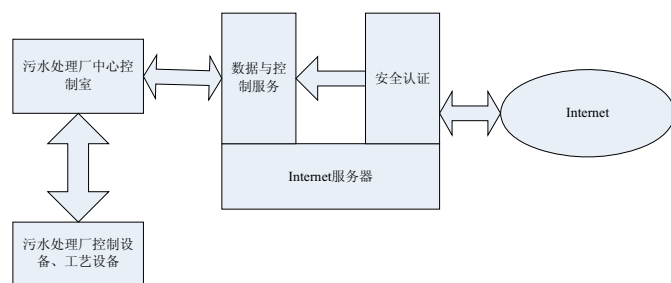


图7 污水处理厂的远程监控系统结构

4. 应用效果

污水处理生产过程综合自动化系统已成功应用于某污水处理厂。通过采用优化设定控制、仿人智能PID等先进技术，解决了溶解氧、污泥浓度的控制难题。该综合自动化系统自投入使用以来，一直安全可靠的运行，实现了污水处理生产过程优化控制、优化运行、优化管理，保证了污水处理过程的稳定、可靠运行和优良的出水水质，同时使每吨污水处理成本大幅下降。

5. 结束语

针对城市污水处理过程普遍存在的自动化程度低、运行成本高的问题，结合污水处理过程的特点，提出了实现综合生产指标优化的污水处理过程综合自动化系统。该系统将生产过程控制与信息管理紧密地结合起来，达到信息集成与决策，建立起污水处理厂全面的生产数据采集、传输、分析、存储、管理的综合系统。同时该系统也成功的把回路优化设定控制方法应用到污水处理过程中，提高了污水处理效果，解决了污水处理生产过程难于用数学模型来描述的难题。该系统的结构设计合理、功能完善、使用可靠，充分体现了低成本自动化的特点，适合污水处理厂综合自动化生产的需要。应用于某污水处理厂效果显著，有积极的推广应用价值。

参考文献

- [1] 李冬华, 张玉艳. 污水处理厂综合自动化系统[J]. 中国仪器仪表, 2004, 7: 22-25.
- [2] 赵立杰, 柴天佑, 黄肖玲. 城市污水处理过程综合自动化系统及其应用[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11 (1): 138-144.
- [3] KATEBI M R, JOHNSON M A, WILKIE J W, et al, "Control and management of wastewater treatment plants" [A]. UKACC International Conference on Control [c]. Swansea, UK: IEEE Xplore, pp.433— 438, 1998.
- [4] CHARBONNIER J C, "Technology road map to determine the research priorities of the European steel industry" [A]. EUROFER [C]. China Metal Institute, 1999.
- [5] CHAI Tianyou, JIN Yihui, REN Dexiang, et al. "Contemporary integrated manufacturing system based on three layer structure in process industry" [J]. Control Engineering of China, 2002, 9(3): 1-6.