

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.003

智慧污水处理厂的内涵与思路

王 松^{1,2}, 刘 振^{1,2}

(1. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392)

摘 要: 智慧污水厂是智慧城市和智慧水务的重要内容和建设难点, 主要包括智慧生产控制系统、智慧运营系统和智慧管理系统。污水处理厂以生物处理为主, 具有非线性、时变性、滞后性和不确定性等特点, 耦合控制、过程建模和参数优化比较困难, 而污水厂实际硬软件系统、数据发掘处理及控制管理水平等也与智慧污水厂要求相差较远。智慧污水厂应该结合视频识别、机器人、BIM、互联网+、物联网、云计算及大数据等先进技术, 在前期进行精细化设计, 实现水质达标、安全生产、高效节能等生产、运营和管理目标。

关键词: 智慧水务; 污水处理厂; 智能控制; 脱氮除磷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0014-05

Connotation and Way of Smart Sewage Treatment Plant

WANG Song^{1,2}, LIU Zhen^{1,2}

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300392, China;
2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin 300392, China)

Abstract: Smart sewage treatment plant is an important and challenging content of smart city and smart water. It includes smart production control system, smart operation system and smart management system. Due to the nonlinearity, time-varying, hysteresis and uncertainty of the biological treatment process, coupling control, modeling and parameter optimization for sewage treatment plant are difficult. The hardware and software systems, data mining and processing, and control management level of the sewage treatment plant are also far from the requirements of the smart sewage treatment plant. Video recognition, robots, BIM, "Internet +", Internet of Things, cloud computing and big data, etc., should be applied to the construction of smart sewage treatment plant. Refined design should be implemented in the early stage to achieve the goals of the water quality, safty production, energy efficiency and other production management.

Key words: smart water; sewage treatment plant; intelligent control; nitrogen and phosphorus removal

随着视频识别、机器人、BIM、“互联网+”、物联网、云计算及大数据等先进技术的涌现与发展,智慧水务的理念受到广泛关注和推行。目前,智慧水务在城市管网、城市内涝、自来水厂等领域应用广泛,但是污水处理包括生物、物理和化学等反应,是一个多变量、难耦合的动态过程,具有非线性、时变性、滞

后性和不确定性等特点,整个处理过程影响因素较多,过程建模、耦合控制和参数优化比较困难^[1]。因此,智慧水务在污水处理厂中的系统性应用较为困难,但前景较为广阔。

1 智慧污水厂的内涵及现状

传统污水处理厂生产、办公及配套系统主要包

括污水处理系统、污泥处理系统、加药系统、曝气系统、除臭系统、供电系统、自控系统、人员管理系统、安防系统、绿化养护系统等,因此污水厂管理是一个多专业交叉、复杂的庞大体系。智慧污水厂应该是以新一代信息技术为手段,生产、运行、管理和维护等各环节实现全过程、全方位、全智能控制,通过信息互通、联动控制、有序管理等,建立水质达标、绿色节能、环境舒怡的污水处理厂。

活性污泥模型(ASM)是污水处理中过程模拟、运行优化及自动控制的重要工具,基于ASM出现了GPS-X、BioWin、AQUASIM等模型软件,但模型结构复杂、参数较多,与自控系统联动进行智慧化控制较困难。而仪表、控制和自动化等技术虽已引入污水处理控制领域多年,但大部分污水厂仅以数据采集与监视控制为主,反馈调节及系统联动较简单。

此外,污水厂实际建设与运营时,自控仪表安装不全、运行数据不够完整,如污泥回流量、混合液回流量、生物池内磷酸盐浓度和硝酸盐浓度、工艺处理各单元进出水参数等。污水厂自控系统仅具备数据采集与简单控制功能,而反馈调节及系统联动控制的功能没有完全实现。大量生产数据未得到有效挖掘与应用,污水厂运营中缺乏高水平专业技术人员,运行多以经验为主,调控缺乏科学量化的依据。大部分污水厂智能控制仅限于生产控制,对于办公及生产辅助系统应用较少。因此,污水厂需要从“自动化”向“智慧化”转变。

2 智慧污水厂构建思路

2.1 智慧污水厂框架体系

在保证出水水质达标的前提下,通过智能控制降低能耗、药耗、人力,从而降低运行成本,这是智慧污水厂基本的要求。此外,为确保正常的生产、办公等需求,智慧污水厂还应包括智慧运营系统和智慧管理系统等,推荐的智慧污水厂框架体系见图1。

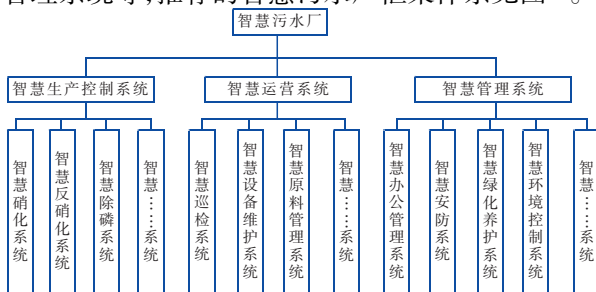


图1 智慧污水厂框架体系

Fig.1 Framework system of smart sewage treatment plant

2.2 智慧污水厂运营平台搭建

智慧污水厂运营平台是整个系统的“大脑”,其主要功能为数据采集、信息分析、智慧决策、信息反馈、自动优化及修复等,整个系统形成闭环控制。智慧决策是整个过程的关键,它是基于大量工艺模拟,通过大数据发掘与分析,形成“专家系统”。当采集后的数据输入“专家系统”后,能够自动分析匹配相关参数,迅速准确做出优化决策,并反馈至控制系统进行后续处理。

3 智慧污水厂建设内容

3.1 智慧生产控制系统

污水处理厂最基本的任务是保证出水水质达标排放,而脱氮除磷是保障出水水质的关键,也是污水厂智能控制和节能降耗的重点。智慧生产控制系统是通过各生产环节的智能控制,全智慧、低成本、高效率地实现安全生产和水质达标,主要包括智慧硝化系统、智慧反硝化系统和智慧除磷系统。

① 智慧硝化系统

硝化的原理是硝化细菌在好氧条件下将氨氮转为硝态氮,智能硝化系统(精确曝气系统)通过时间和空间两个维度对溶解氧进行调控:时间上根据进水负荷及出水水质的变化动态调整曝气量,满足不同进出水条件下的曝气需求;空间上对好氧池进行溶解氧分区控制,满足不同工艺段曝气量的需求。智慧硝化系统调节控制如图2所示。

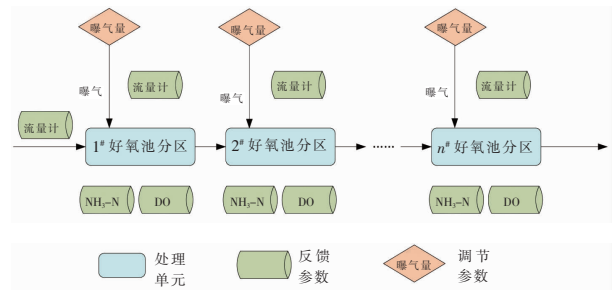


图2 智慧硝化系统调节控制

Fig.2 Regulation control of smart nitrification system

好氧池每个分区分别安装DO仪、氨氮仪、空气流量计、线性调节阀等在线仪表,通过测定进水负荷(进水流量及氨氮浓度)、出水氨氮浓度、曝气量等指标,反馈调节鼓风机开启数量及出风量、线性阀门开启度等,精确控制好氧池DO值,在保证出水水质稳定达标前提下,降低运行成本。

目前,精确曝气系统已经广泛应用于污水厂中,并取得了较好的处理和节能效果。采用精确曝气系

统后,北京某污水厂节约用电 $380 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$, 节约电费 304 万元/a^[2];马头岗污水厂生化池溶解氧控制的稳定性明显提升,在氨氮、COD 稳定达标的前提下,TP 浓度下降幅度达到 67.27%^[3]。

② 智慧反硝化系统

反硝化的原理是指反硝化细菌在缺氧条件下,将硝态氮还原为氮气的过程。智能反硝化系统是基于进水氮负荷和出水总氮浓度反馈控制的综合策略,通过控制好氧池末端曝气量、混合液回流量、碳源投加量等,优化运行参数、降低运行成本。通常将智能硝化系统与智能反硝化系统联动,以控制缺氧环境和硝酸盐浓度。

实际运行时,多数污水厂仅通过调控碳源投加量进行反硝化控制,这就会造成进水碳源利用率较低、运行成本较高,并且过量投加具有出水水质 BOD₅、COD 超标的风险。由于生物脱氮过程是氨化菌、亚硝化菌、硝化菌、反硝化菌等微生物共同作用

的多级反应过程,不同微生物对环境要求各异,整个过程影响因素复杂,需要控制指标较多,因此脱氮过程智能感应及反馈控制与微生物活动不能完全耦合,这给智能控制带来了很大的困扰。

智能反硝化系统控制效果较好的工艺是多段 AO 工艺,运行时可实现前段缺氧区充分利用进水碳源,后段缺氧区通过外加碳源强化脱氮效果,碳源可做到精准投加和控制,运行成本较低。当出水水质要求较高时,深度处理增加反硝化滤池,整个调节控制如图 3 所示。魏楠等^[4]针对昆明市某污水厂进行了前置缺氧段投加、后置缺氧段投加和反硝化滤池投加碳源的研究,结果表明后置缺氧段成本最低,并且易于控制。孙月娣^[5]基于 BioWin/Controller 模型软件,针对 Bardenpho 工艺进行内回流量、碳源投加量、硝酸盐浓度等耦合控制的动态模拟,结果表明实现内回流量和碳源投加的动态耦合控制策略最优,在工艺运行稳定性和节能降耗方面最为突出。

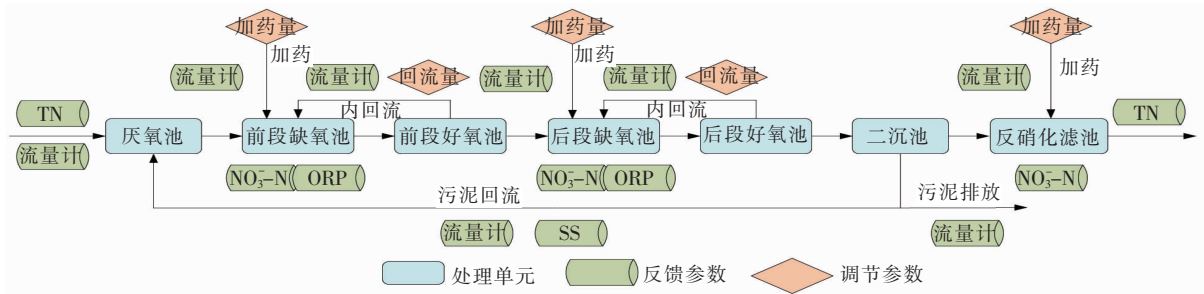


图 3 智慧反硝化系统调节控制

Fig. 3 Regulation control of smart denitrification system

③ 智慧除磷系统

污水厂除磷系统由生物除磷和化学除磷系统组成,生物除磷主要是在生物池内通过聚磷菌好氧吸磷、厌氧释磷作用实现;化学除磷主要是通过投加絮凝剂、助凝剂形成絮体排除系统,从而达到强化除磷的目的。一般污水厂除磷控制主要根据 TP 监测数据,调整化学除磷加药量,更多是通过过量投加药剂,以保证出水 TP 达标。该调控方式不仅相对滞后,而且超量投药增加了运行成本,削弱了活性污泥系统的生物除磷性能,并且大量药剂对水体环境造成了长期不良影响。

智能除磷系统应将生物除磷和化学除磷统一控制:通过进水负荷、二沉池出水水质,反馈控制污泥回流量、污泥排放量等参数;再通过总出水水质,反馈控制化学除磷加药量。智慧除磷系统调节控制如

图 4 所示。

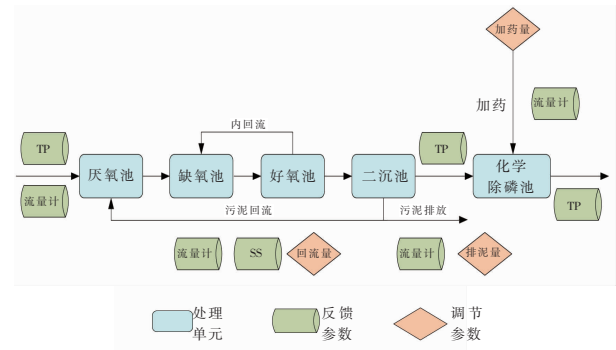


图 4 智慧除磷系统调节控制

Fig. 4 Regulation control of smart phosphorous removal system

山东省某污水厂采用智能除磷系统,通过一年多的运行对比,二期(智能除磷)药耗比一期(传统

控制)降低约17%,减少药剂成本约20万元/a;平均产泥率由 $1.5 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 降至 $1.05 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,节省污泥处置费用约60万元/a;同时智能系统采用闭环工作模式,在很大程度上解放了劳动力,降低了人力成本^[6]。

3.2 智慧运营系统

智慧运营系统是利用新一代信息技术,将日常巡检、设备维护、药剂采购及储存、水质分析等运营工作构建在统一管理体系中,以提升运营管理水平、保障设备安全性能、提高意外事件处理效率、降低运行成本。其主要包括智慧巡检系统、智慧设备维护系统、智慧原料管理系统等。

① 智慧巡检系统

利用机器人、视频监控、视频识别等技术,建立智慧巡检系统,监控生产运营过程,及时发现、排除、处置意外事件。

② 智慧设备维护系统

建立设备档案管理系统,对设备运行参数进行实时监测和数据对比,自动制定设备维护和检修计划,实现设备预测性维护。此外,将管理设备的使用说明书、作业指导书、验收报告、维保知识、培训资料、维修经验等设置成电子文档,以便随时随地查询学习。

③ 智慧原料管理系统

建立生产和试验药剂等原材料仓储管理系统,根据历年供应及消耗大数据,自动制定采购和储存计划。

3.3 智慧管理系统

污水厂管理是一个多专业交叉、复杂的庞大体系,因此智慧管理系统应集合办公、环境、安全、辅助生产等工作,采用新一代信息技术构建系统性管理平台,为污水厂的高效办公、精准管理、环境舒适、绿色环保等创造条件。其主要包括智慧办公管理系统、智慧安防系统、智慧绿化养护系统、智慧环境控制系统等。

① 智慧办公管理系统

通过建立个人办公、行政办公、公共信息、公文流转等模块,实现污水厂人员、资产、财务等信息化和智慧化管理。

② 智慧安防系统

利用视频识别、指纹识别、红外线、电子围栏等技术,建立全面立体的安防系统,将不同人员细化为

不同权限,通过人员识别及定位、移动终端、无线覆盖等技术手段,规范人员的活动路线及范围,保证人员安全。

③ 智慧绿化养护系统

建立绿化管理系统和自动浇灌系统,通过气象信息和植物档案信息,自动制定绿化养护计划,实现浇灌、施肥、修剪等养护工作合理化和智慧化。

④ 智慧环境控制系统

对污水厂通风、空调、照明、消防等建立智能控制系统,尤其是地下式污水处理厂,针对不同位置、不同设备及不同人员的需求,制定精准的控制策略,在确保人员安全舒适和设备安全运行的前提下,实现节能减排、减少二次污染的目标。

4 智慧污水厂建设建议

智慧污水厂的建设困难主要集中在硝化、反硝化及除磷系统能否实现全过程、全智能化控制及运营成本节约上。污水处理厂的建设及运营过程实际上是“对立统一”的,对立性表现在污水处理本身是一个复杂的物理、化学和生物反应过程,为满足出水水质达标需控制较多参数,而很多参数本身相互制约,比如:停留时间与节约占地的矛盾、保证水质达标和能耗的矛盾、好氧环境与厌氧环境的矛盾、脱氮与除磷的矛盾等。统一性表现在污水处理过程的延续性、微生物生长相辅相成、各个处理单元都具有多重功能等。

建设智慧污水厂,应该在确保安全生产和出水达标的前提下,通过智能控制降低运营成本,不能一味追求“智慧”而忽视了安全生产、水质达标及成本控制。智慧污水厂应与视频识别、机器人、BIM、“互联网+”、物联网、云计算及大数据等技术结合应用,建立适用于污水厂的数学模型和完备的评价体系。加快推进智慧污水厂的建设,建议如下示范工程建设步骤:

① 顶层设计

智慧污水厂应该在前期就进行精细化设计,一是考虑建设所需投资,更重要的是选择适合智能控制的工艺、设计智能控制所需要的仪表及软件系统。例如,生物池可采用多段AO工艺,实现混合液回流及污泥回流计量;选择多台小流量加药泵,配置足够种类和数量的在线仪表等。

② 建立数据库

一方面输入原始设计数据,建立基础数据库;另

一方面污水厂运行后,采集输入运行数据,形成大数据系统,对数据进行分析与发掘,实现趋势显示。

③ 工艺模拟及系统优化

通过工艺模拟与仿真,对控制系统、运行参数进行优化,降低运行成本。此外,通过前期大数据分析与发掘,能够智能控制系统应对进水负荷波动,保证出水水质达标排放。

④ 故障诊断及自我修复

通过大数据系统,建立专家系统与故障树,确定关键参数上下限值,通过自动匹配判断异常或征兆,对异常情况及设备故障进行诊断和自我修复。

参考文献:

- [1] 郑怀礼,李俊,孙强,等. 城镇污水处理自动控制策略研究进展[J]. 土木与环境工程学报(中英文),2020,42(1):126-134.
ZHENG Huaili, LI Jun, SUN Qiang, *et al.* Automatic control strategies of urban wastewater treatment: a review [J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2020,42(1):126-134(in Chinese).
- [2] 孙慧,王佳伟,吕竹明,等. 北京某大型城市污水处理厂节能降耗途径和效果分析[J]. 中国给水排水,2019,35(16):31-34.
SUN Hui, WANG Jiawei, LÜ Zhuming, *et al.* Analysis of approaches and effects of energy saving and consumption reduction in a large scale wastewater treatment plant in Beijing[J]. China Water & Wastewater, 2019,35(16):31-34(in Chinese).
- [3] 李升,胡晓东,许飞飞,等. 马头岗污水厂精确曝气系统的实施及应用效果[J]. 中国给水排水,2016,32(15):26-31.
LI Sheng, HU Xiaodong, XU Feifei, *et al.* Implementation and application efficiency of aeration volume control system in Matougang wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016,32(15):26-31(in Chinese).
- [4] 魏楠,赵思东,孙雁,等. 污水处理厂强化脱氮过程中碳源投加策略研究[J]. 中国给水排水,2017,33(1):71-75,79.
WEI Nan, ZHAO Sidong, SUN Yan, *et al.* Strategies for dosing carbon source for enhanced nitrogen removal in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(1):71-75,79(in Chinese).
- [5] 孙月娣. Bardenpho 工艺内回流与碳源投加耦合控制动态模拟[J]. 中国给水排水,2017,33(23):66-70.
SUN Yuedi. Dynamic simulation of coupled control between internal reflux and carbon source dosing in Bardenpho process [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(23):66-70(in Chinese).
- [6] 贾玉柱,赵月来,刘成钰,等. P-RTC 化学除磷智能实时控制系统在污水厂的应用[J]. 中国给水排水,2019,35(8):87-90.
JIA Yuzhu, ZHAO Yuelai, LIU Chengyu, *et al.* Study on operation effect of P-RTC automatic dosing device [J]. China Water & Wastewater, 2019,35(8):87-90(in Chinese).

作者简介:王松(1981-),男,黑龙江哈尔滨人,本科,高级工程师,主要从事水处理工程设计工作。

E-mail:wangsong2433@126.com

收稿日期:2020-07-22

修回日期:2020-08-08

(编辑:丁彩娟)

环境就是民生,青山就是美丽,蓝天也是幸福