

基于 CASS + MBBR 工艺的污水处理控制策略

胡田力, 邱叶林, 程树辉

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘要: 为提升松花江流域的水质, 哈尔滨市某污水处理厂需进行升级改造。此次升级改造的污水处理主工艺为 CASS + MBBR, 通过对自控及仪表系统的精细化设计、智能化控制策略的优化设计, 可以指导自动化集成商进行系统集成和上位机程序的编制、调试及交付工作, 实现了对 CASS + MBBR 工艺段各水质参数的精准控制。现场调试与运行结果表明, 出水水质长期稳定并满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 排放标准。

关键词: 污水处理; CASS; MBBR; 精细化设计; 智能化控制策略; 精准控制

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0092-05

Wastewater Treatment Control Strategy Based on CASS and MBBR Process

HU Tian-li, QIU Ye-lin, CHENG Shu-hui

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: In order to improve the water quality of Songhua river basin, a sewage treatment plant in Harbin was upgraded and expanded with CASS and MBBR as the main process. Through the fine design of automatic control and instrumentation system and the optimization design of intelligent control strategy, it guided the automation integrator to integrate the system and compile, debug and program of upper computer. Delivery work had achieved the precise control of water quality parameters in CASS and MBBR process sections. Field debugging and operation showed that the effluent quality could stably meet the first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002).

Key words: sewage treatment; cyclic activated sludge system; MBBR; fine design; intelligent control strategy; precise control

1 工程概况与背景

哈尔滨某污水处理厂主要承担该市西部地区污水的集中处理任务, 规划处理规模为 $33 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 现况已建设 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该污水处理厂设计采用 CASS (Cyclic Activated Sludge System) 工艺。改造前设计进、出水水质见表 1。改造前出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准。

表 1 改造前设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality before reconstruction $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
设计进水	350	200	250	35	45	5.0
排放标准	60	20	20	8(15)	20	1.0

主要工艺流程: 进水 → 拦污栅 → 粗格栅 → 提升泵 → 细格栅 → 旋流沉砂池 → 初沉池 → CASS 池 → 紫

外消毒→排放。

初沉池污泥和剩余污泥输送至储泥池,通过离心机脱水后,泥饼运输到指定的污泥集中处理中心进行处理处置。

该污水处理厂于 2011 年 9 月调试达标,投入运行,但从 2013 年开始进水水量(见图 1)和水质超过原设计标准,且波动较大,从而使出水达标具有一定困难。

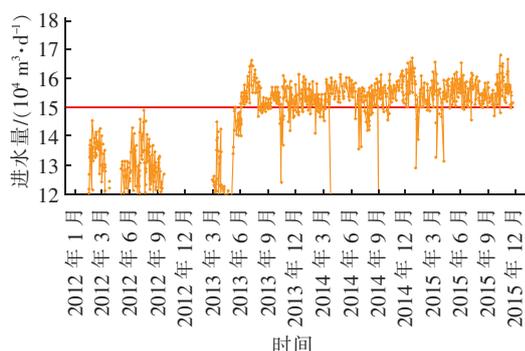


图 1 进水流量变化曲线

Fig. 1 Change of flow with time

2015 年 4 月 16 日国务院发布的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)中规定“到 2020 年,长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河等七大重点流域水质优良”,同时规定“敏感区域(重点湖泊、重点水库、近岸海域汇水区域)城镇污水处理设施应于 2017 年底前全面达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 排放标准”。该污水处理厂地处城区,出水排入何家沟,最终汇入松花江,而目前该污水处理厂执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,因此对该污水处理厂进行升级改造十分必要。

2016 年 1 月该污水厂开始实施升级改扩建工程,以此为基础,重点阐述基于 CASS 工艺升级改扩建后污水处理控制系统的硬件和软件设计与实践。

2 CASS 工艺改造

CASS 工艺简图见图 2。

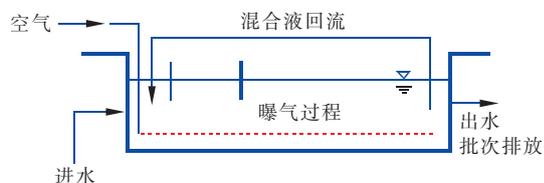


图 2 CASS 工艺简图

Fig. 2 Sketch of CASS process

CASS 池由生物选择池、主反应池及曝气系统几部分组成,污水在选择池和反应区内以串联推流的方式运行,同时各选择池和反应区的内部则以完全混合的方式运行^[1]。

根据设计进、出水水质要求,对现况 CASS 生化池进行改造。将目前生物池改造为 CASS + MBBR 工艺。为将此次改造对生物池运行影响降到最低,对现况 12 组、24 格 CASS 生物池进行分组改造。改造措施如下:

① 保持 CASS 池运行周期不变,调整工艺时序(见表 2),并增设填料。

表 2 改造后 CASS 工艺运行周期

Tab. 2 Operation cycle of CASS process after reformed

周期	进水	边进水边曝气	曝气	沉淀	滗水	合计
时间	1.0	0.5	2.5	1.0	1.0	6.0

② 根据实际运行经验,MBBR 填料对管式曝气器曲面膜片有磨损,采用平面式板式曝气器效果更好。

③ 现况管式曝气器损坏较多,因此更换现况 CASS 生物池内损曝气器,采用曝气效果好、使用寿命长的板式曝气器。

④ 在满足工艺需求的同时,重新对 CASS 生物池进行绿化设计,并对现况敞口部分实施绿化封闭,在增强景观效果的同时,减少臭气的产生。

3 自控及仪表系统硬件设计

自控及仪表系统的硬件设计包括现场控制分站、现场过程仪表和分析仪表、通信网络和中控 SCADA 系统 4 个部分。

3.1 现场控制分站设计

现场控制分站配置 PLC、工业操作屏、以太网交换机、PLC 柜、不间断电源(UPS)及防雷电保护装置,并内置针对 CASS 工艺及鼓风机、推流搅拌器、污泥回流泵、剩余污泥泵、滗水器、排泥泵、进水阀、排泥阀、出水阀和进气阀等设备的监控所开发的应用程序。其中,工业操作屏可供现场操作人员使用,方便操作人员巡检。其设置有不同级别的访问权限,以确保系统的安全可靠。

3.2 仪表系统设计

CASS 池设置的仪表设备有:超声波液位计、溶解氧浓度仪、污泥浓度计、氨氮浓度仪、pH 测量计和 ORP 浓度仪,仪表信号接入现场控制分站,用于过

程监控。仪表配置情况如下:

① 在每个 CASS 的好氧区内安装在线溶解氧浓度仪、污泥浓度计、pH 测量计和 ORP 测定仪,作为控制信号及反馈信号,并用于鼓风机气量的计算;

② 利用溶解氧浓度仪和污泥浓度计监测污水中活性污泥浓度;

③ 在空气支管安装热式气体流量计用于气量的检测,同时作为鼓风机变频控制和阀门开度计算的反馈信号;

④ 利用氨氮浓度仪的反馈信号辅助氨氮优化控制。

3.3 通信网络设计

自控系统通信网络由三层网络构成。

① 第一层:信息层,由监控、管理计算机、数据服务器、便携式计算机、工业以太网交换机、网络打印机等设备构成,以满足对本工程的监控要求。

② 第二层:控制层,由现场控制分站和工业以太网交换机组成。采用基于 IEEE 802.3 标准的全双工 1 000 Mbps 以太网,传输介质采用单模光缆。

③ 第三层:设备层,由现场控制设备和各种智能仪表组成,采用基于 IEC 61158 标准的现场总线通信方式或 I/O 接点方式,与现场控制单元进行通信。现场总线协议根据控制设备和仪表选型确定。

3.4 中控 SCADA 系统设计

在中控室设置实时自控系统,包括:5 套操作站、2 套工程师站、1 套大屏幕及控制计算机、2 套数据服务器、1 套通信管理机、2 套网络打印机、SCADA 监控软件和数据平台等。

其中,5 套操作站相互热备,其接收、处理所有的现场采集数据,集中管理、控制污水厂现场控制分站,提供清晰、友善的人机界面,完成生产管理的日报、月报、年报,可以在中控室集中控制污水厂的运行,操作站进行转换时,系统无数据丢失。

自控系统组态软件开放、灵活,可集成复杂控制策略,用于污水处理监测、控制,其同时具有动态画面显示、报警、报表输出、趋势预测、历史数据存储等功能。

4 控制策略软件设计

针对 CASS + MBBR 工艺的生化反应机理复杂,其具有非线性、多变量、随机性和复杂性的特点,制定相应的智能化控制策略^[2],对 CASS 池的曝气量、加药量、碳源投加量和污泥排放量等重要工艺参数

实现精确动态平衡控制。该控制策略结合了运营单位和工艺设计师的水处理需求,并用于指导自动化集成商进行上位机程序的编制、调试及交付,最终使污水厂出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

智能化控制策略的内容包括:通过智能决策系统建立起基于厂站工艺流程的数学模型;针对 CASS 池溶解氧和加药过程的大滞后、变滞后、多因子、非线性等特点,采用了模糊 PID 算法,实现了溶解氧和加药过程的精细化控制;在精确曝气控制基础上,采用级联控制方式控制生化池出水氨氮、总磷浓度和总悬浮颗粒物浓度;引入模型预测控制算法实现对外加碳源投加量精准控制。

4.1 智能决策系统

智能决策系统以厂站的工艺流程、运行工况、设备参数、进水条件等为基础,进行工艺模型的定制,并开发相应的交互软件。向软件输入水量、水质、工艺运行、设备指标等参数,通过仿真来获取目标厂站的出水水质、能耗,以及各评价指标的模拟结果,重现厂站的真实运行情况,并在此基础上为工艺运行提供经过优化的关键运行参数。

智能决策系统基于厂站工艺流程建立数学模型,以运行报表记录的进水历史数据或来自在线监测仪表的进水实时数据作为模型的输入参数,对厂站的各种运行状况进行仿真、诊断,优化关键运行参数,满足厂站出水水质达标和节能降耗的要求。系统主要功能如下:

- ① 定制化建模;
- ② 多样化、可视化的配置和交互方式;
- ③ 能耗仿真功能;
- ④ 虚拟仪表和在线仿真;
- ⑤ 工艺优化与决策工艺智能化运行系统。

4.2 精确曝气流量控制系统

精确曝气流量控制系统^[3]是一个集成的控制系统,旨在为生物处理过程提供精确曝气。以气体流量作为控制信号,溶解氧信号作为辅助控制信号,根据污水厂进水水量和水质实时计算需气量,实现按需曝气和溶解氧的精细化控制^[4]。

精确曝气系统采用“模糊 PID 算法^[5]”的控制方式,针对常见的扰动输入因素,如水量变化、水质变化等,通过生物处理过程模型实时计算得出系统需要的曝气量,其根本目的在于实现出水水质达标

基础上的节能降耗。

精确曝气系统实现了对曝气池内 DO 精准控制,用户可设置 0.5~5.0 mg/L 之间的任意值,系统可实现快速响应,控制精度在设定值的 ± 0.3 mg/L 范围内。经过控制程序的编制与调试,分别选取溶解氧为 1.0、2.0 和 3.5 mg/L 的设定值作为控制目标,结果满足工艺要求。

4.3 氨氮优化控制系统

氨氮优化控制系统是对精确曝气控制系统功能的拓展。在精确曝气控制中,通过变频鼓风机-阀门系统的调节将生化反应池的溶解氧控制在目标值上,以维持稳定的生化环境,提高出水水质达标率。

为了达到直接控制生化池出水氨氮的目的,可采用更为复杂的级联控制方式,该级联控制逻辑的内回路是溶解氧控制器,即,溶解氧和曝气量控制回路;其外回路是氨氮-溶解氧设定值控制回路,两个回路通过溶解氧设定值关联在一起(见图 3)。

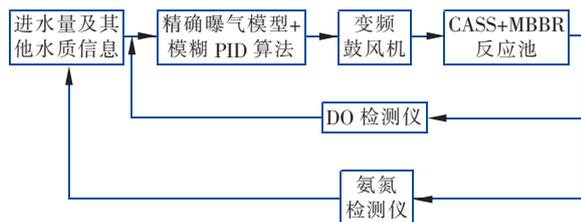


图 3 氨氮-溶解氧控制回路

Fig. 3 Control circuit diagram of ammonia nitrogen and dissolved oxygen

为了达到直接控制 CASS 池出水氨氮的目的,可采用更为先进的模型仿真,即根据进水负荷的变化,以出水水质达标为目标,模型实时算出系统的控制参数如曝气量(气体流量和压力)、回流比,将控制参数按需下发到控制系统,由控制系统执行。

4.4 加药除磷控制系统

针对污水厂加药过程的大滞后、变滞后、多因子、非线性等特点,加药除磷控制系统同样采用了“模糊 PID 算法”的多参数控制模式,实现了加药过程的精细化控制^[5]。

加药除磷控制系统的核心为加药量的计算,而加药量的计算需以智能决策系统为依托,以污水厂进水的水质、水量作为输入信号,对整个 CASS 池的水力和活性污泥反应进行仿真(包括碳氧化、氨氮硝化、硝酸盐反硝化、磷去除^[6])。系统能根据进水流量和进水污染物浓度实时计算出溶解氧、氨氮、硝

态氮、磷和 MLSS 等多项指标的浓度在生物池内的沿程分布,从时间和空间两个维度追踪上述重点指标的变化情况,从而为加药除磷控制系统提供准确的数据支撑。

根据进水磷的组分测试值,智能决策系统可准确预测综合反应池出水的磷酸盐浓度,同时结合进水水量、温度、pH、出水总磷浓度等相关参数,除磷药剂投加系统可准确计算出每个加药流程的需药量,并将需药量信号发送至加药泵主控柜 MCP,利用加药泵控制模块,根据泵的流量-频率特性设定泵的运行频率,调节构筑物的总加药量;同时,通过加药管路上阀门开度的调控,来实现各个构筑物加药量的合理分配,从而实现出水水质达标基础上的药剂投加量降低。

4.5 外加碳源投加控制系统

外加碳源投加控制系统,将综合考虑流入缺氧区的硝态氮的浓度、出水硝态氮的目标值、进水水质和水量等参数,利用模型实时计算出碳源的投加量。为了降低生化反应过程的非线性、大时滞对外加碳源投加控制系统控制性能的影响,引入了模型预测控制对外加碳源投加进行控制,提升了控制性能,实现了外加碳源的精细化控制。

外加碳源投加控制系统,基于模型的分区变参数 PID 控制策略,能够根据进水水质和水量及目标出水水质,有效地控制碳源的投加量,在不影响出水水质特别是 TN 的情况下,使得出水 TN 尽可能地接近出水标准,从而达到节约碳源的目的。

5 运行效果

2016 年 1 月—2017 年 6 月 CASS 池进行改造施工,首先完成了自控仪表硬件设备的设计、安装,其次自动化集成商根据设计要求,针对 CASS 工艺的智能化控制策略编制 SCADA、DCS 或 PLC 等相关软件程序、模型和算法,最后完成了整个系统的调试^[7]。

2017 年 6 月,CASS 池自控系统未投入运行,污水厂出水 BOD₅、COD、SS、氨氮、总氮和总磷等参数不稳定,勉强满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

2017 年 7 月—2018 年 5 月对出水 BOD₅、COD、SS、氨氮、总氮和总磷参数进行复测,各指标数据稳定,均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。表 3 为 2018 年 5 月的实测出水水质。

表3 实测出水水质

Tab.3 Measured effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
数值	42	8.4	7.2	4.0	10.5	0.45

6 结论

通过对 CASS 工艺环节进行智能化控制策略优化,将生产过程控制与信息紧密结合,从而达到信息集成与决策目的。对 CASS + MBBR 工艺过程设备数据进行智能判别和自动操控,实现各工艺环节调控、闭环联动控制,提升生产运行效率。

该控制策略运行良好、稳定,在保证出水水质的前提下,提升了设备自动化、智能化水平。

参考文献:

- [1] 熊芳. M - CASS 工艺处理生活污水的运行控制优化研究[D]. 天津:天津大学,2007.
Xiong Fang. Study on Operation Control Optimization of M - CASS Process for Domestic Sewage Treatment [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007 (in Chinese).
- [2] 于进,胡汉青. CASS 污水处理工艺的自动控制[J]. 中国给水排水,2011,27(8):103 - 105.
Yu Jin, Hu Hanqing. Automatic control of CASS wastewater treatment process [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(8): 103 - 105 (in Chinese).
- [3] 王明智,谢丽清,刘洪波,等. 基于模糊控制的 CASS 工艺曝气控制仿真[J]. 水科学与工程学报,2011(5):26 - 28.
Wang Mingzhi, Xie Liqing, Liu Hongbo, et al. Simulation of CASS aeration control based on fuzzy control [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2011 (5): 26 - 28 (in Chinese).
- [4] 谢华林. 精确曝气系统在临平净水厂的应用[J]. 大陆桥视野,2017(18):40 - 42.
Xie Hualin. Application of precise aeration system in Linping water purification plant [J]. New Silk Road Horizon, 2017(18): 40 - 42 (in Chinese).
- [5] 单长考,韦强余. 基于 PCS7 的 Smith - 模糊 PID 控制器设计与应用[J]. 常熟理工学院学报:自然科学,2015,29(4):100 - 104.
Shan Changkao, Wei Qiangyu. A design and application of Smith - Fuzzy PID controller based on PCS7 [J]. Journal of Changshu Institute Technology: Natural Science, 2015, 29(4): 100 - 104 (in Chinese).
- [6] 马达,熊亚,刘彦鹏,等. CASS 工艺中 PAC 强化除磷试验研究[J]. 中国给水排水,2016,32(9):135 - 139.
Ma Da, Xiong Ya, Liu Yanpeng, et al. Phosphorus removal enhanced by PAC in CASS process and its effect on activity of sludge [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(9): 135 - 139 (in Chinese).
- [7] 朱兰香,单泽彪,单泽涛,等. 基于 CASS 工艺的污水处理自控系统设计[J]. 吉林大学学报:信息科学版,2014,32(6):569 - 573.
Zhu Lanxiang, Shan Zebiao, Shan Zetao, et al. Automatic control system design of sewage treatment based on CASS [J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2014, 32(6): 569 - 573 (in Chinese).



作者简介:胡田力(1989 -),男,江西南昌人,硕士,工程师,主要从事市政给排水工程的电气、仪表及自控专业设计工作。

E - mail: hutianli582@163.com

收稿日期:2019 - 01 - 24