

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.01.016

污水处理过程中除磷加药智能控制系统及应用研究

黄俊熙, 岑玉铭, 关宇霆, 张伟龙
(广州市净水有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 应用基于化学除磷模型和在线传感器的智能控制系统对污水处理厂的药剂投加量进行优化控制,以达到污水处理厂一级A总磷排放标准。以广州市某污水处理厂为例,设计了除磷加药智能控制系统的控制策略,拟合出化学除磷公式,以表征智能除磷系统的应用效果。结果表明,在一般城市生活污水的总磷浓度条件下,可以节约除磷药剂量40%~50%,2~3年便可回收控制系统的建设成本。污水处理厂采用该除磷加药智能控制系统后,可以实现在出水水质稳定达标的前提下降低加药量的目标。

关键词: 化学除磷; 智能控制系统; 污水处理; 降低成本

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)01-0104-04

Application of Intelligent Control System for Chemical Phosphorus Removal in Wastewater Treatment Process

HUANG Jun-xi, CEN Yu-ming, GUAN Yu-ting, ZHANG Wei-long
(Guangzhou Sewage Purification Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: An intelligent control system based on chemical phosphorus removal model and on-line sensor was applied to optimize the dosage of chemicals in a wastewater treatment plant, so as to make the effluent total phosphorus meeting the first level A discharge standard. The control strategy of an intelligent control system for chemical phosphorus removal was designed in a wastewater treatment plant in Guangzhou, and the formula of chemical phosphorus removal was fitted to characterize the performance of the intelligent phosphorus removal system. When treating domestic sewage with average total phosphorus, the dosage of phosphorus removal chemical could be saved by 40%~50%, and the construction cost of the control system could be recovered within 2~3 years. After adopting the intelligent control system for chemical phosphorus removal in the wastewater treatment plant, the goal of dosage reduction was realized on the premise that the effluent quality reached the discharge standard stably.

Key words: chemical phosphorus removal; intelligent control system; wastewater treatment; cost reduction

污水处理厂出水水质要达到一级A排放标准,出水TP浓度应小于0.5 mg/L,而生物除磷工艺的出水水质范围一般为0.5~2.0 mg/L,不能稳定达到一

级A标准,因此需要采用化学辅助除磷^[1]。化学除磷工艺已广泛应用于生活污水和工业废水的处理,相比于生物除磷,该工艺具有水力停留时间短、操作

控制简便、运行稳定等优点^[2-3]。

一般污水处理厂对出水TP的监测主要依据每2h的在线监测数据,当数据显示出水总磷超出控制值时,再根据前期经验对工艺进行调整,主要是适当提高除磷药剂的投加量甚至超量投加除磷药剂,直至再次监测的出水总磷指标符合控制目标,该种调控方式的效果相对滞后,在生物除磷效果好的时候可能造成超量投药,增加了运行成本,同时在生物除磷效果不佳时造成药剂不足,增加出水超标风险。

长期以来,加药除磷过程一直是人工调节控制加药量,全凭运行人员根据进、出水水质及经验决定,为保证达标必须长期超量投加药剂以消除生物除磷效果浮动的影响。除磷药剂投加量的控制直接关系到出水水质的达标排放和运行成本,通过采用除磷加药智能控制系统可以实现在达标排放的基础上减少除磷药剂投加量的目标,以降低污水处理厂的运行成本。因此,笔者根据广州某污水处理厂实际运行情况,设计了一种基于在线传感器与化学除磷模型复合技术实现的除磷加药智能控制系统,并且将前馈控制环节及控制效果比对引入控制系统中,解决了传统加药除磷系统的非线性、时变和时滞的难题,能较好地满足生产需要,具有较强的可行性和实用性。

1 除磷加药智能控制系统的组成

除磷加药智能控制系统整体构架如图1所示(D表示信号,Y表示硫酸铝,WS表示污水)。

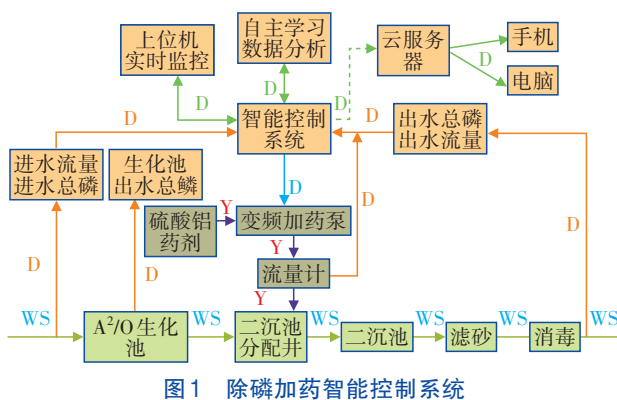


Fig.1 Intelligent control system for chemical phosphorus removal

该系统主要由在线监测设备、加药设备、控制设备及云服务器等组成^[4],采用在线传感器技术与化学除磷模型复合的控制策略,根据进水流量、生化池出水总磷,提前计算出合理的药剂需求量,然

后再利用模糊-PID智能算法控制变频加药泵的频率,同时在线监测出水总磷浓度,提供对出水总磷浓度超标的报警功能^[5]。

2 在线监测设备

好氧池末端的总磷浓度是至关重要的控制参数,需要安装总磷在线监测设备对其进行实时监测^[6]。因此,在好氧池末端安装总磷在线分析仪来测量好氧池末端总磷浓度,每45min测量一次。测量原理为水样与过硫酸钾混合后进行高温高压消解,将水样中各种形式的磷转化为磷酸盐,然后磷酸盐与钼酸铵、抗坏血酸反应生成蓝色络合物,根据颜色的深浅测出反应产物的吸光度值,进而得到样品中的总磷含量。另外,由于好氧池中具有很高浓度的污泥颗粒等固体悬浮物,因此需要在总磷在线监测设备中安装预处理装置,为了降低成本和减少维护工作量,本研究采用自制的预处理装置,该预处理装置非常简单,仅由三个步骤组成,即抽水取样—静置沉淀45min—仪器取样。

3 化学除磷控制策略

本套设备采用除磷加药控制技术,在实现达标排放的基础上减少除磷药剂投加量,以降低污水处理厂的运行成本^[6]。系统在生化池前设置污水流量计测定处理量 Q ,在生化池末端在线监测总磷浓度,然后采用控制器采集实时数据,并根据拟合公式计算得到投药泵流量 D ,然后将控制信号输出给变频器,变频器控制隔膜加药泵从药剂储液池向加药点按给定流量送药。

本研究采用基于模糊技术与常规PID控制算法结合的复合控制器和前馈的智能控制策略,控制器的输入为现场加药量与工控机上给定加药量之间的偏差及其变化率,输出变量为控制变频器频率的信号,控制器自动调整变频器频率,进而控制计量泵,调节加药量,控制策略如图2所示。

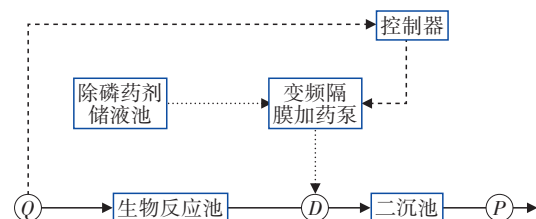


图2 化学除磷控制策略

Fig.2 Control strategy diagram of chemical phosphorus removal

4 化学除磷的拟合公式

本研究的拟合公式是基于现场采样后,根据国标法测出水样添加药剂以后的总磷浓度。根据测量数据拟合出加药量与出水总磷、目标出水总磷(0.2~0.3 mg/L)之间的函数关系式来计算除磷药剂硫酸铝的投加量。现场采集缺氧池前端、好氧池出水与二沉池出水各30 L水样,立即测总磷浓度,结果表明,缺氧池出水总磷为8.53 mg/L、好氧池出水总磷为0.30 mg/L、二沉池出水总磷为0.06 mg/L。采样时刻污水厂运行参数:采样时间为2019年11月26日,进水流量为1 400 m³/h,进水总磷为2.70 mg/L,出水总磷为0.036 mg/L。

利用好氧池出水与缺氧池前端配制总磷浓度为0.3~3 mg/L的溶液,然后测定加药后的总磷浓度,最后拟合出加药量方程,见式(1)。

$$y=23.62(x-\text{obj})+4.888 \quad x>\text{obj} \quad (1)$$

式中: x 为好氧池出水总磷浓度,mg/L; obj 为目标出水总磷浓度,mg/L; y 为药剂需求量,mg/L。

由于人工操作的误差,使得拟合模型的相关系数为0.802 9,但模型显示出加药量与总磷在线检测值呈线性相关,这与化学反应式的理论相吻合,因此该模型是正确的,可以在实际工程中使用。初始投药时,投药量需要乘以一个安全系数,保证出水水质达标。由于污水除磷加药过程是一个动态连续的过程,所以在污水处理厂运行一段时间以后,再根据实时数据重新拟合一个公式,可以减小模型的偏差,使模型更能够实时计算加药量,污水处理厂运行一个月后重新拟合的方程见式(2)。

$$y=17.3(x-\text{obj})+3.6 \quad x>\text{obj} \quad (2)$$

式中: x 为好氧池出水总磷浓度,mg/L; obj 为目标出水总磷浓度,mg/L; y 为所需药量,mg/L。

此公式的相关系数为0.942,比第一次的拟合公式精度高,能够更精准地计算加药量。

5 加药控制上位监控系统及控制软件

新建污水处理厂在中控室、值班室都安装了上位机监控软件,该软件显示了智能加药系统的各项数据和设备状态,使值班人员可以实时了解当前的加药数据。

上位监控系统具备声光报警功能,可在值班室、中控室发出报警声,提示值班人员应急处理,降低污水厂出水总磷异常风险,具备历史报表功能,

可用于人工分析当前加药参数是否需要修改和用于智能系统的深度分析与加药预测。

控制软件分为两个模块,即数据采集模块和精准加药模块,如图3所示。数据采集模块显示取样设备状态、取样流程状态、生化池出口总磷曲线,可设定取样测试时间参数,显示采集的进水流量和出水流量等数据。

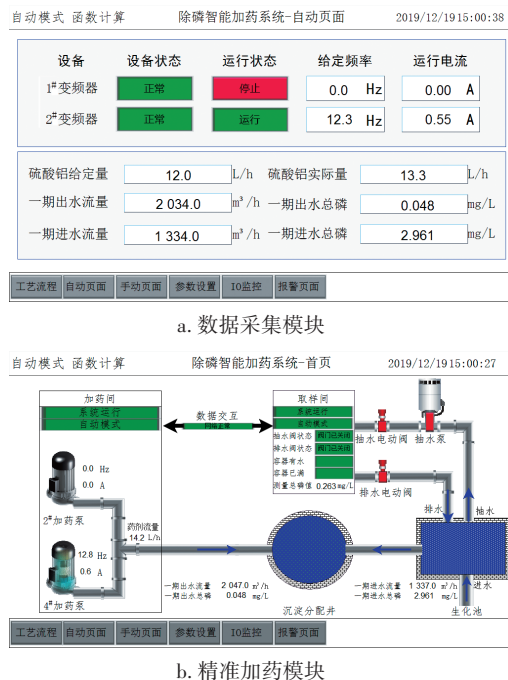


图3 数据采集模块和精准加药模块

Fig.3 Diagram of data acquisition module and precision dosing module

精准加药模块的触摸屏可显示工艺流程,以便操作人员能够直观观察系统的运行状态,实时显示报警内容,方便操作人员迅速判断故障所在,具有手动控制功能,方便操作人员进行流量计校正、泵机故障等检查操作,可设定经验方法或智能模型计算加药量,并且能设定各种报警极限参数,可根据出口药剂流量计进行反馈,使用PID方法控制加药泵,精准控制流量。

6 智能除磷系统效果

智能除磷系统采集不同进水流量下生化池出水总磷数据,当出水总磷从0.6 mg/L降至0.1 mg/L时,不同进水流量下的投药量如图4所示。可以看出,在一般城市生活污水的总磷浓度下,采用该智能除磷系统可以节约除磷药剂剂量40%~50%,2~3年便可回收控制系统的建设成本。

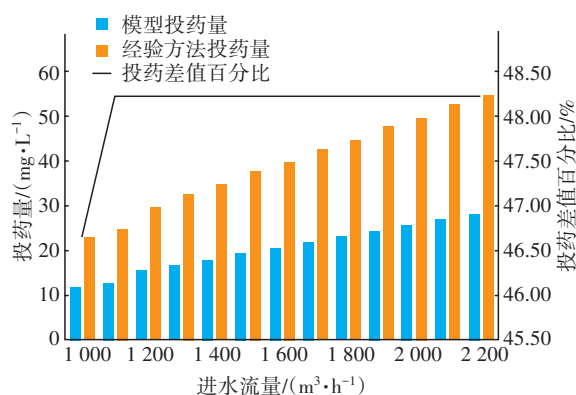


图4 不同进水流量下的投药量

Fig.4 Change of dosing with different flow

7 结论

在广州某污水厂实际运行情况下设计了在线传感器与化学除磷模型的复合系统,实现了智能控制加药除磷。此系统解决了污水处理过程中的非线性、时变和时滞的难题,降低了其他干扰因素对系统的影响,能够精准计算除磷药剂的投加量,很好地满足了生产需要,具有较强的可行性和实用性,可在出水水质稳定达标的前提下显著降低加药量。在现有城市污水厂相同TP浓度下,采用该智能除磷系统可节约近一半的药剂量,并能在短期内回收控制系统的建设成本,具有一定的经济效益。

参考文献:

- [1] 李子富,云玉攀,曾灏,等. 城市污水处理厂化学强化生物除磷的试验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34 (12): 3070-3077.
LI Zifu, YUN Yupan, ZENG Hao, *et al.* Experimental study on chemically enhanced biological phosphorus removal for municipal wastewater treatment plant [J]. China Environmental Science, 2014, 34 (12): 3070-3077(in Chinese).
- [2] GUTIERREZ O, PARK D, SHARMA K R, *et al.* Iron

salts dosage for sulfide control in sewers induces chemical phosphorus removal during wastewater treatment [J]. Water Research, 2010, 44 (11): 3467-3475.

- [3] 王刚,苗瑞鹏,张振冲,等. 生物转盘内部投加PAC化学除磷效果研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 50-54.
WANG Gang, MIAO Ruipeng, ZHANG Zhenchong, *et al.* Chemical phosphorus removal efficiency of rotating biological contactor with addition of polyaluminium chloride [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 50-54(in Chinese).
- [4] 杨新宇. 城市污水处理厂控制系统开发与综合评价[D]. 北京:清华大学, 2012.
YANG Xinyu. Development and Evaluation of Control System for WWTP [D]. Beijing: Tsinghua University, 2012(in Chinese).
- [5] 王明锋,何康,吴晓倩. 模糊控制在污水处理厂化学除磷加药控制系统中的应用[J]. 净水技术, 2018, 37 (S2): 63-66.
WANG Mingfeng, HE Kang, WU Xiaoqian. Application of fuzzy control in dosing control system for chemical phosphorous removal in WWTP [J]. Water Purification Technology, 2018, 37 (S2): 63-66 (in Chinese).
- [6] 王茜. 污水处理厂自动化系统研发与设计[D]. 西安: 长安大学, 2016.
WANG Qian. Research and Design of Wastewater Treatment Plant Automatic System [D]. Xi'an: Chang'an University, 2016(in Chinese).

作者简介:黄俊熙(1981-),男,广东汕头人,硕士,高级工程师,主要研究方向为污水处理技术。

E-mail: 25032011@qq.com

收稿日期: 2020-09-04

修回日期: 2020-12-15

(编辑:任莹莹)