

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.12.018

污水处理厂化学除磷精确投加系统及应用研究

赵俊娜, 王建伟, 马景春, 洪猛, 陈凯, 邓超, 董京
(沧州市供水排水集团有限公司, 河北 沧州 061000)

摘要: 以沧州市某污水处理厂为例,针对总磷达标问题,设计开发了基于正磷酸盐在线分析仪的化学除磷精确投加系统,可设定开环和闭环运行模式,其闭环模式采用前馈+反馈的控制策略。实际应用效果表明,该系统可实现除磷工艺和除磷剂投加的精细化调控,除磷效率显著提高,运行成本大幅降低。在进水总磷含量增加31.3%的情况下,除磷剂投加量节约35.2%,一年内即可收回系统的建设成本,经济效益显著,同时保证了出水总磷稳定达标。

关键词: 污水处理厂; 化学除磷; 精确投加; 节能降耗

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)12-0110-04

Research on Precise Dosing System for Chemical Phosphorus Removal and Its Application in a WWTP

ZHAO Jun-na, WANG Jian-wei, MA Jing-chun, HONG Meng, CHEN Kai,
DENG Chao, DONG Jing

(Cangzhou Water Supply and Drainage Group Co. Ltd., Cangzhou 061000, China)

Abstract: Taking a wastewater treatment plant (WWTP) in Cangzhou City as an example, a precise dosing system for chemical phosphorus removal based on orthophosphate online analyzer was designed and developed. The system can be set to open loop and closed loop operation mode, and the closed loop mode adopted the feedforward and feedback control strategy. The application effect of the system in the WWTP shows that the system realized the fine control of phosphorus removal process and chemicals, phosphorus removal efficiency was significantly improved, and the operation cost was greatly reduced. When the total influent phosphorus was increased by 31.3%, the amount of phosphorus removal chemicals was reduced by 35.2%, and the construction cost of the system could be recovered within one year, with remarkable economic benefits to ensure the stable up-to-standard of TP.

Key words: WWTP; chemical phosphorus removal; precise dosing; energy saving and consumption reduction

当前,我国污水处理厂排放标准不断提高^[1-2],仅靠生物除磷很难实现出水总磷达标($TP < 0.3 \text{ mg/L}$ 或 $< 0.2 \text{ mg/L}$),因此在生物除磷的基础上需要辅以化学除磷^[3]。根据药剂投加位置,化学除磷可分为前置除磷、同步除磷和后置除磷^[4-5]。污水处理厂一

般根据出水总磷在线监测数据,通过人工调整除磷剂投加量,而出水总磷在线监测设备检测一个水样需要2 h,检测时间较长,而且根据出水总磷进行调节存在较大的滞后性,容易造成除磷剂投加过量或不足,进而增加出水总磷超标风险和运行成本,因此

基金项目:沧州市重点研发计划指导项目(192107003)

建立化学除磷精确投加系统对于污水处理厂提高出水水质的保障率和降低运行成本十分必要。

1 污水处理厂概况

沧州市某污水处理厂出水总磷排放标准不断提高,而除磷剂为人工投加,运行管理难度大、成本高,迫切需要建立化学除磷精确投加系统。要想实现污水处理厂整个除磷系统的精确控制,对各工艺段的磷浓度进行在线监测十分必要,尤其化学除磷过程需要掌握正磷酸盐浓度,但是在污水处理过程中实时检测正磷酸盐并将其用于生产型规模污水处理厂的精确控制仍很少。因此,基于该污水处理厂的实际情况,安装了正磷酸盐在线分析仪,并开发除磷剂加药模型,建立了基于生物除磷+同步化学除磷+后置化学除磷协同处理的前馈+反馈耦合控制的化学除磷精确投加系统(见图1)。

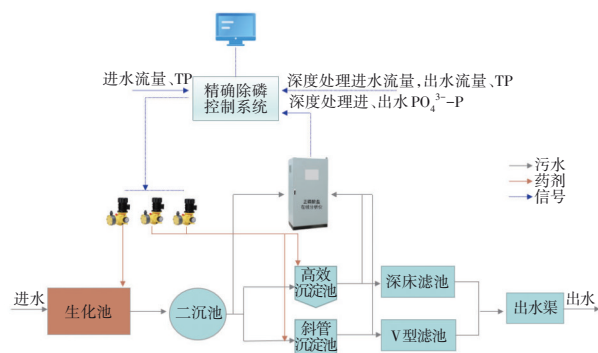


图1 精确除磷系统

Fig.1 Precise phosphorus removal system

该污水处理厂总规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,深度处理系统分两期,每期处理规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期采用折板混合+斜管沉淀+V型滤池工艺,二期采用磁混凝高效沉淀+深床滤池工艺,每一期深度处理又分为并列的2个系列。污水处理厂采用的除磷药剂为铁系复合除磷剂,除磷剂主要成分为聚合硫酸铁,全铁含量 $\geq 11\%$,密度(20°C) $\geq 1.45 \text{ g/cm}^3$,盐基度为 $5\% \sim 20\%$, $\text{pH}(1\% \text{ 水溶液})$ 为 $1.5 \sim 3.0$ 。

2 化学除磷精确投加系统的组成

化学除磷精确投加系统主要包括水质水量在线监测仪表、加药设备和自控系统。

2.1 水质水量在线监测仪表

该系统采集的水质水量数据包括污水处理厂的进水总磷、进水量,深度处理的进水正磷酸盐,一期和二期深度处理沉淀池出水正磷酸盐,一期和二

期深度处理进水量、出水总磷。正磷酸盐的检测采用哈希正磷酸盐在线分析仪(量程为 $0.05 \sim 15 \text{ mg/L}$)。通过对取水和检测系统进行创新性改造,建立了利用一台正磷酸盐在线分析仪对深度处理进水、一期深度处理出水和二期深度处理出水进行检测的在线检测系统^[6](见图2)。正磷酸盐检测系统包括取水管路、水样预处理设备(预过滤器、精过滤器)、正磷酸盐在线分析仪和控制系统。其中取水管路取水点位分别为深度处理进水配水井、一期深度处理斜管沉淀池出水和二期深度处理斜管沉淀池出水,通过虹吸自流取水,取水管路装有手动阀和电动阀,手动阀可人工控制取水管路,电动阀可自动实现取水管路的切换,通过程序设定检测并记录各路水样检测结果。为确保各路水样一直处于新鲜流动状态,取水管路设有待机溢流管和取样溢流管。取水管路还包括反洗进水管路,反洗进水连接污水处理厂自来水管,可定期打开阀门利用自来水对取样管路进行反冲洗,确保管路不堵塞。由于采用1台设备对3路水样进行检测,因此需要对预处理设备进行多次冲洗,为确保检测结果的准确性,每隔 30 min 进行一路水样的检测,实际效果表明该系统对污水处理厂深度处理进出水的检测稳定性和准确性良好,出水磷浓度最低可检测至 0.05 mg/L 。

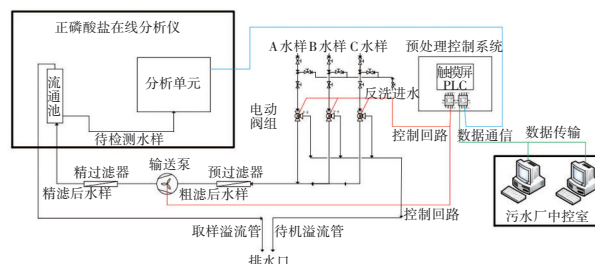


图2 多路水样正磷酸盐在线检测系统

Fig.2 Multi-channel water sample orthophosphate online detection system

2.2 加药设备

加药设备主要包括除磷剂储罐、除磷剂加药泵、阴离子PAM配药箱以及配套的加药管路和流量计,除磷剂储罐中设有液位计,除磷剂加药系统后端连接生化池末端、一期深度处理进水端、二期深度处理反应池进水端,PAM加药系统连接一期深度处理反应池进水端和二期深度处理反应池。其中生化池、一期深度处理、二期深度处理各设加药泵2台,深度处理加药泵通过管路改造可以单泵供单系

列,也可以单泵供2个系列,避免出现因泵故障无法正常加药的问题。加药泵配有变频器,可以实现加药量按需调节,加药管路设有背压阀、安全阀、阻尼器、过滤器、单向阀等,确保药剂投加均匀稳定。设PAM加药泵4台,一期深度处理和二期深度处理各2台。每个系列均设有流量计,可以实时显示加药流量。

2.3 自控系统

自控系统包括硬件PLC和上位机SCADA软件编程及显示系统。PLC安装在加药间值班室,可以进行现场调控,并显示加药量。上位机SCADA软件编程及显示系统设在中控室,精确投加系统采集到的信号传输至中控室,由计算模块根据预设的加药模型进行加药量计算,并将结果反馈给加药系统进行调整。该系统主要包括两个界面:一是加药泵控制,显示加药泵启停状态、运行电流、频率和加药量,可进行精确投加系统开闭环控制,开环模式可设定加药量;二是精确除磷控制,显示水质、水量及加药量数据,并可进行精确投加系统控制参数的设定。该系统相关数据均可在报表中进行记录。

3 精确除磷控制策略

3.1 控制策略

该系统药剂投加点位分别为生化池末端和深度处理进水端,运行模式分为开环和闭环两种。生化池投加采用开环模式,深度处理投加有开环和闭环两种模式。深度处理采用何种模式根据实际情况确定,正常情况下采用闭环模式,当深度处理某一系列故障或进水磷浓度过低时采用开环模式。开环模式由人工远程调控加药量,其中生化池除磷剂投加量根据深度处理进水(二沉池出水)磷浓度进行反馈调节,深度处理除磷剂投加量根据进水磷负荷及深度处理出水磷浓度综合调节。闭环模式为系统根据加药模型自动计算并自动调节加药量,采用前馈+反馈的控制策略,前馈控制采集深度处理进水正磷酸盐浓度和水量数据,通过内置的加药模型自动计算加药量,并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,反馈控制根据深度处理出水实测正磷酸盐值和设定值的偏差进行纠偏调整,并将控制信号输出给变频器。闭环模式控制策略见图3。

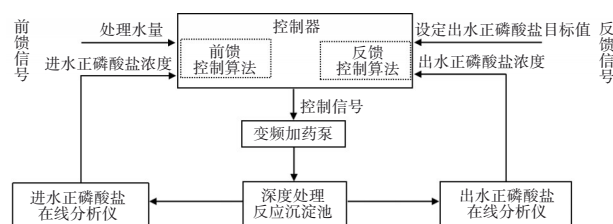


图3 后置化学除磷闭环控制策略

Fig.3 Closed-loop control strategy for post-chemical dephosphorization

3.2 加药模型

取该污水处理厂二沉池出水,通过投加不同磷标准溶液,配制不同初始磷浓度水样,然后在实验室进行化学除磷混凝实验,确定不同进水磷浓度下的投加系数,再根据投加系数、进出水磷浓度控制参数、除磷剂性状参数等建立基于深度处理进水磷负荷的除磷剂加药数学模型。该模型包含的参数主要为深度处理进出水的正磷酸盐和处理水量。反馈控制根据深度处理出水正磷酸盐浓度和设定目标值的偏差采用模糊控制手段进行纠偏调整。仅靠前馈控制无法保证出水磷浓度达到设定目标,仅靠反馈控制无法及时根据前端水质变化进行药量调节,而通过前馈+反馈的控制模式既可以实现前端前馈加药及时,又可实现后端反馈调节加药的准确性,使出水磷浓度较好地达到设定目标。

4 精确投加系统的运行效果

该厂进水总磷波动较大(2~16 mg/L),平均进水总磷为7.09 mg/L,其中汛期雨后进水总磷浓度可低至2 mg/L,其他时段进水总磷基本为5 mg/L以上。该污水处理厂每日各时段磷浓度波动也较大。通过精确投加系统及时调整加药量,出水总磷稳定控制在0.25 mg/L以内。

自精确投加系统投用以来,该污水处理厂除磷系统的精细化管理水平显著提升,除磷效率大幅提高,运行成本大幅降低,出水水质稳定达标。

① 直接经济效益。该厂化学除磷精确投加系统于2022年4月开始应用,将项目实施后一年(2022年4月—2023年3月)和实施前同期(2021年4月—2022年3月)的运行数据进行对比可知,实施前平均处理水量为85 888 m³/d,进水总磷为5.40 mg/L,除磷剂投量为125 mg/L,实施后平均处理水量为96 612 m³/d,进水总磷为7.09 mg/L,除磷剂投量为81 mg/L。经核算,在处理水量增加12.5%、进水

总磷增加31.3%的情况下,除磷剂消耗降低35.2%,节省除磷剂费用114万元/a。

② 间接经济效益。随着除磷剂投量的减少,化学除磷产生的污泥量相应减少,化学污泥处置费降低;可以实时掌握各关键处理环节的处理效果,更有针对性地进行工艺调整和药剂投加,提高了精细化管理水平,间接降低了有机物和氮指标处理过程的能耗和药耗;自动化水平提高后,减少了现场运行操作人员,节省了人工费;提高了出水水质达标的保障性,可有效避免超标罚款风险。

5 结论

沧州某污水处理厂建立了基于生物除磷+同步化学除磷+后置沉淀化学除磷协同处理的前馈+反馈耦合控制的除磷剂精确投加系统,实现了除磷剂的精确投加,解决了原人工加药存在的调整滞后、人工操作强度大、出水水质不稳定等问题,同时提高了污水处理厂的整体精细化运行管理水平,使得污水除磷效率大幅提高,运行成本大幅降低。该系统建设费用低,一年内即可收回建设成本,产生可观的经济效益,具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 李振华,蔡丽云,王鸿辉,等. 污水厂化学强化除磷投药量精准自动控制[J]. 工业水处理, 2020, 40(10): 55-59.
LI Zhenhua, CAI Liyun, WANG Honghui, *et al.* Automatic control of precise dosage for chemical enhanced phosphorus removal in wastewater treatment plant[J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(10): 55-59(in Chinese).
- [2] 贾胜男,周锐,赵福祥,等. 同步化学除磷对A²O性能影响及微生物特性研究[J]. 水处理技术, 2021, 47(10):99-103.
JIA Shengnan, ZHOU Rui, ZHAO Fuxiang, *et al.* Study on effect of simultaneous chemical phosphorus removal on A²O performance and microbial characteristics [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(10):99-103(in Chinese).
- [3] 黄潇,董文艺,庄温瀚,等. Fe²⁺强化A-MAO工艺低温深度化学除磷研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(15):13-18,24.
HUANG Xiao, DONG Wenyi, ZHUANG Wenhao, *et al.* Fe²⁺ enhanced deep chemical phosphorus removal by A-MAO process under low temperature [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(15): 13-18, 24 (in Chinese).
- [4] 黄潇,董文艺,王宏杰,等. 前置除磷优化及对多级缺氧-好氧工艺的影响[J]. 水处理技术, 2020, 46(2): 114-119.
HUANG Xiao, DONG Wenyi, WANG Hongjie, *et al.* Optimization of pre-phosphorus removal and its effect on multistage AO process [J]. Technology of Water Treatment, 2020, 46(2):114-119(in Chinese).
- [5] 李航,董立春,吕利平. 多点化学强化除磷对改良型A²/O工艺脱氮除磷的影响[J]. 水处理技术, 2021, 47(10):90-93,98.
LI Hang, DONG Lichun, LÜ Liping. Effect of multi-point chemical enhanced phosphorus removal on nitrogen and phosphorus removal by improved A²/O process [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(10):90-93,98(in Chinese).
- [6] 赵俊娜,洪猛,韩春柳,等. 一种污水厂多路水样正磷酸盐在线检测系统: 202222646595.0 [P]. 2023-01-20.
ZHAO Junna, HONG Meng, HAN Chunliu, *et al.* A Multi-channel Water Sample Online Detection System for Orthophosphate in Wastewater Plant: 202222646595.0 [P]. 2023-01-20(in Chinese).

作者简介:赵俊娜(1988-),女,河北邢台人,硕士,工程师,主要从事水污染控制技术研究工作。

E-mail:zhaojunna61@163.com

收稿日期:2023-06-05

修回日期:2023-06-12

(编辑:衣春敏)