

南方城镇污水极限氮磷去除工艺中试研究

隋克俭, 李家驹, 孙永利, 李鹏峰, 张岳, 王诣达
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘要: 针对南方城镇污水极限氮磷去除,设计开发了由水解酸化池、多级 A/O 生物系统、反硝化滤池、臭氧接触氧化池、活性炭滤池组成的中试装置。调节该中试装置的运行参数,并连续稳定运行 45 d,试验结果表明,该组合工艺能够实现城镇污水极限氮磷去除目标,出水 $TN \leq 3 \text{ mg/L}$ 、 $TP \leq 0.1 \text{ mg/L}$ 、 $COD \leq 30 \text{ mg/L}$ 。

关键词: 极限氮磷去除; 多级 A/O 工艺; 反硝化滤池; 臭氧接触氧化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)07-0097-04

Pilot Study on Urban Sewage Limiting Nitrogen and Phosphorus Removal Process in Southern Towns

SUI Ke-jian, LI Jia-ju, SUN Yong-li, LI Peng-feng, ZHANG Yue, WANG Yi-da
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: A pilot plant that combined hydrolytic acidification tank, multi-stage A/O biological system, denitrification biofilter, ozone contact oxidation tank and activated carbon filter was designed and developed aiming at limiting nitrogen and phosphorus removal of urban sewage in southern towns. Through 45 days of continuous operation, the process could achieve the goal of removing limiting nitrogen and phosphorus in urban sewage by adjusting the operational parameters, and the TN, TP and COD in the effluent were no more than 3 mg/L, 0.1 mg/L and 30 mg/L, respectively.

Key words: limiting nitrogen and phosphorus removal; multi-stage A/O process; denitrification biofilter; ozone contact oxidation

近年来,城市水环境已成为影响我国区域环境质量、区域经济发展潜力和社会发展水平的重要因素。随着社会发展,人们对水环境的要求和水污染控制的意识不断提高。水环境质量问题已经引起了从国家到地方各个层面的重视。国务院 2015 年发布了《水污染防治行动计划》,2018 年发布了《中共中央 国务院关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》;全国多省、市陆续出台了一系列较“一级 A”标准更加严格的地方排放标准,如北京市《水污染物综合排放标准》(DB 11/307—

2013)、天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)、江苏省《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)等。

为了适应日益严格的污水处理排放标准,污水脱氮除磷技术得到了飞速发展。在强化污水营养物质去除方面,现有的生物脱氮除磷工艺已难以满足未来污水处理厂出水水质标准要求,氮磷营养物质极限去除工艺相关研究鲜有报道。因此,笔者在南方某城镇污水处理厂建立了一套中试装置,以面向未来

的前瞻性城市污水处理技术为核心,研究城市污水极限氮磷去除工艺的运行参数,旨在为未来城市污水处理厂设计和运行提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验装置

中试装置的工艺流程如图1所示。该组合装置由水解酸化池、多级A/O生物池、二沉池、混凝沉淀池、反硝化滤池、臭氧接触氧化池、活性炭滤池组成,设计水处理量为 $20\text{ m}^3/\text{d}$ 。水解酸化池的有效容积为 3 m^3 ,水力停留时间(HRT)为4 h;预缺氧区的有效容积为 0.8 m^3 ,HRT为1 h;厌氧区的有效容积为 1.04 m^3 ,HRT为1.3 h;反硝化除磷区的有效容积为 1.36 m^3 ,HRT为1.7 h;缺氧区的有效容积为 2.4 m^3 ,HRT为3 h;好氧区的有效容积为 4.8 m^3 ,HRT为6 h;内回流消氧区的有效容积为 0.8 m^3 ,HRT为1 h;后置缺氧区的有效容积为 1.6 m^3 ,HRT为2 h;后置好氧区的有效容积为 0.8 m^3 ,HRT为1 h;二沉池的有效容积为 1.6 m^3 ,HRT为2 h;反硝化滤池、臭氧接触氧化池和活性炭滤池的有效容积均为 0.1 m^3 ,水力停留时间根据出水水质实时调整。

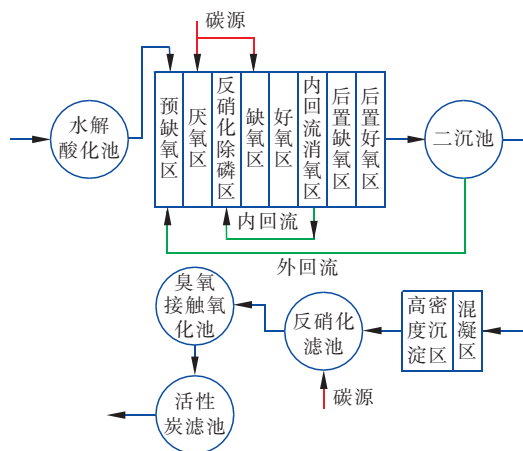


图1 中试装置工艺流程

Fig.1 Flow chart of pilot plant

1.2 进水水质

试验用水为某城镇污水处理厂沉砂池出水,该厂进水中工业废水占50%,主要水质指标:COD为 $142\sim 420\text{ mg/L}$; $\text{NH}_3\text{--N}$ 为 $20.2\sim 40.3\text{ mg/L}$; TN为 $28.4\sim 49.5\text{ mg/L}$; TP为 $2.13\sim 7.82\text{ mg/L}$; SS为 $110\sim 193\text{ mg/L}$; pH值为 $7.20\sim 7.53$ 。

1.3 分析项目及方法

中试装置运行过程中,水解酸化池进出水、二沉

池出水、混凝沉淀池出水、反硝化滤池出水、臭氧接触氧化池出水、活性炭滤池出水均采用24 h混合水样的方式进行采样,多级A/O生物池各个单元在每日固定时间取样1次。COD、 $\text{NH}_3\text{--N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{--N}$ 、TN、 $\text{PO}_4^{3-} \text{--P}$ 、TP、SS、VSS采用《水和废水监测分析方法》(第4版)进行测定。

1.4 中试装置的运行条件

中试装置于2016年3月开始稳定运行,经过不同试验工况后,最终确定了极限氮磷去除工艺参数。水解酸化池:HRT为3 h,泥位控制在池体高度75%以上,SRT为10~15 d;多级A/O生物池:SRT为20 d,内回流比为150%~200%,污泥回流比为100%,好氧区前端溶解氧控制在 $2\sim 3\text{ mg/L}$,好氧区后端溶解氧控制在 $1.5\sim 2\text{ mg/L}$,后置好氧区溶解氧控制在 2 mg/L 以下,非曝气区溶解氧控制在 0.2 mg/L 以下,进水点在预缺氧区,碳源(乙酸钠)投加点在厌氧区和缺氧区,投加量分别为20和10 mg/L;二沉池的HRT为1.6 h;混凝沉淀池除磷药剂(PAFC)的投加量为 20 mg/L ;反硝化滤池的滤速为 2.4 m/h ,每12 h反冲洗1次,碳源投加量为 20 mg/L ;臭氧接触氧化池:进气臭氧浓度为 15 mg/L ,HRT为0.5 h;活性炭滤池的滤速为 3 m/h ,每间隔6 h进行1次反冲洗。

2 结果与分析

2.1 对COD的去除效果

中试装置对COD的去除效果如图2所示。

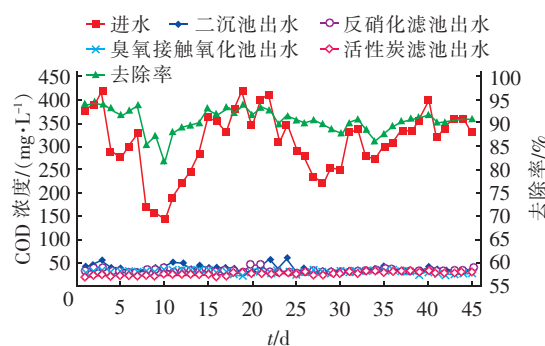


图2 中试装置对COD的去除效果

Fig.2 Removal effect of COD by pilot plant

由图2可以看出,多级A/O工艺对COD的去除效果较为稳定,由于进水中工业废水比例较高,二沉池出水COD浓度接近一级A标准限值,且多为难生物降解COD。反硝化滤池对COD的去除效果有限,但经过臭氧接触氧化池后平均COD浓度降低了

7 mg/L 左右,经活性炭吸附后,COD 浓度略有下降,约为 2 mg/L,主要是由于臭氧能够氧化难生物降解的杂环类化合物和芳香族化合物^[1-2],活性炭的微孔结构也能吸附部分有机物。在进水水质波动较大(最小值为 142 mg/L,最大值为 420 mg/L)的情况下,最终出水 COD 平均值为 27.8 mg/L,平均去除率为 90.5%。

2.2 对氨氮的去除效果

中试装置对氨氮的去除效果如图 3 所示。可以看出,进水氨氮波动较大,最小值为 20.2 mg/L,最大值为 40.3 mg/L,这是由于南方降水频繁,地下水水位与河水水位上升,大量地表水及浅层地下水倒灌、渗漏至污水管道中^[3]。二沉池、反硝化滤池、臭氧接触氧化池、活性炭滤池出水的氨氮浓度差异不大,平均值分别为 0.89、0.88、0.91、0.90 mg/L,表明对氨氮的去除主要是依靠多级 A/O 生物池,在曝气区溶解氧浓度 ≤ 3 mg/L 条件下,也能获得较高的氨氮去除率(95% 以上)。根据该运行条件下氨氮出水浓度可知,通过对曝气区溶解氧进行梯度控制,能够在保证氨氮有效去除的同时降低曝气能耗。

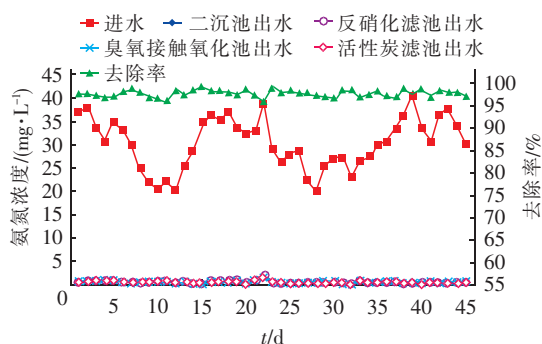


图 3 中试装置对氨氮的去除效果

Fig. 3 Removal effect of ammonia nitrogen by pilot plant

2.3 对TN 的去除效果

中试装置对 TN 的去除效果如图 4 所示。可以看出,受降水影响,进水 TN 浓度波动较大。二沉池出水 TN 浓度能够稳定在 5~7 mg/L,多级 A/O 生物池对总氮的去除由 3 部分组成:①在预缺氧区,活性污泥利用进水中的部分碳源将回流污泥中的硝态氮通过反硝化作用去除;②在反硝化除磷区,具有反硝化功能的聚磷菌利用自身贮存的聚糖类物质,以内回流混合液中的硝态氮为电子受体进行反硝化除磷,实现了一份碳源先厌氧释磷再反硝化脱氮的“一碳两用”^[4];③在缺氧区,活性污泥利用外加碳

源将残余的硝态氮进一步通过反硝化去除。反硝化滤池作为系统去除 TN 的保障环节,出水 TN 浓度为 1.89~3.44 mg/L,平均值为 2.67 mg/L,去除量为 3~4 mg/L,投加的碳源得到有效利用,说明反硝化滤池在运行良好的情况下,能够充分利用外加碳源进一步去除 TN。而后续臭氧接触氧化池和活性炭滤池对 TN 的去除效果不明显。

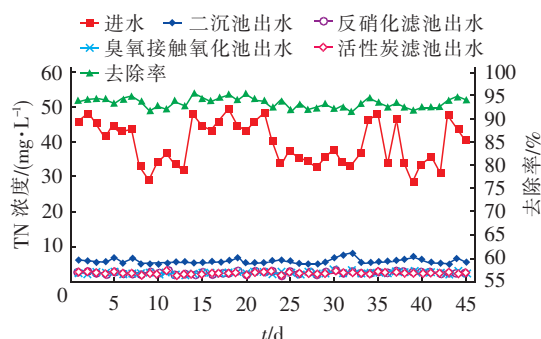


图 4 中试装置对 TN 的去除效果

Fig. 4 Removal effect of TN by pilot plant

2.4 对TP 的去除效果

中试装置对 TP 的去除效果如图 5 所示。

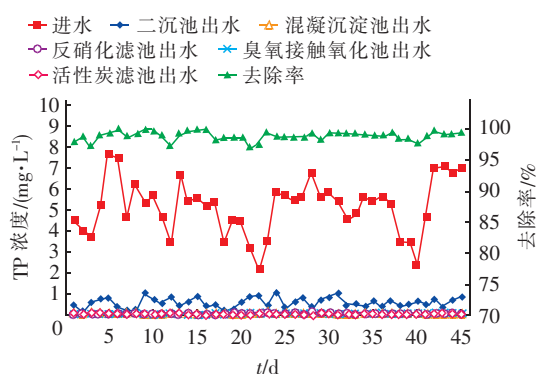


图 5 中试装置对 TP 的去除效果

Fig. 5 Removal effect of TP by pilot plant

由图 5 可以看出,二沉池出水 TP 浓度平均值为 0.63 mg/L,说明中试装置仅依靠生物除磷难以实现 TP 的稳定达标和极限去除,需辅助化学除磷以进一步降低出水 TP 浓度。通过混凝沉淀池投加化学除磷药剂,混凝沉淀池出水 TP 浓度下降至 0.1 mg/L 左右,平均出水 TP 浓度为 0.11 mg/L。经过反硝化滤池后,出水 TP 浓度进一步下降,平均值为 0.05 mg/L。这是由于在反硝化滤池内,未能有效沉淀的混凝絮体被滤料层截留,进一步去除了 TP。因此,生物除磷+化学除磷+过滤工艺可以有效实现极限磷去除。

3 结论

在南方某城镇污水处理厂进水中工业废水比例高达50%的情况下,采用水解酸化池+多级A/O工艺并结合反硝化滤池、臭氧接触氧化池与活性炭滤池深度处理单元,能够有效实现城镇污水极限氮磷去除目标,出水 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 3 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.1 \text{ mg/L}$ 。在中试装置运行过程中实现了:臭氧接触氧化工艺可以有效去除部分难生物降解的COD;在曝气区溶解氧浓度较低的情况,同时实现了节能和氨氮的高效去除;反硝化滤池能够进一步去除多级A/O生物系统出水中的总氮;化学除磷+滤池组合工艺可以提高除磷药剂的利用率,将出水TP降低至 0.1 mg/L 以下。

参考文献:

- [1] 邱松凯,范举红,黄开坚,等. 臭氧-曝气生物滤池深度处理垃圾焚烧渗滤液可行性研究[J]. 中国环境科学,2014,34(10):2513-2521.
Qiu Songkai, Fan Juhong, Huang Kaijian, *et al.* A study on municipal waste leachate treatment with ozonation-biological aerated filter[J]. China Environment Science, 2014, 34(10): 2513-2521 (in Chinese).
- [2] 尹子华,盛晓琳,刘锐,等. 多级A/O工艺强化处理城市污水的效果研究[J]. 环境科学,2016,37(9):3460-3465.
Yin Zihua, Sheng Xiaolin, Liu Rui, *et al.* Enhanced pollutants removal in a municipal wastewater treatment plant with multistage A/O process[J]. Environmental Science, 2016, 37(9): 3460-3465 (in Chinese).
- [3] 李鹏峰,孙永利,郑兴灿,等. 太湖流域某污水厂工艺

过程诊断及优化措施[J]. 中国给水排水,2014,30(17):109-112.

Li Pengfeng, Sun Yongli, Zheng Xingcan, *et al.* Process evaluation and optimizing measures of a WWTP in Taihu Basin[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(17): 109-112 (in Chinese).

- [4] 孙永利,郑兴灿,刘振江,等. 城镇污水厂化学协同除磷对生物除磷的影响[J]. 中国给水排水,2015,31(19):68-71.

Sun Yongli, Zheng Xingcan, Liu Zhenjiang, *et al.* Impact of simultaneous chemical phosphorus removal on biological phosphorus removal in WWTPs [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19): 68-71 (in Chinese).



作者简介:隋克俭(1983-),男,黑龙江牡丹江人,硕士,高级工程师,主要研究方向为污水处理技术、工艺及设备研发。

E-mail: suokj_tj@163.com

收稿日期:2019-09-12

节约每一滴水,回收每一滴水,
让每一滴水多循环一次