

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.10.019

改良 A²O 工艺污泥膨胀伴随泡沫的影响及调控措施

周 鹏, 李鹏飞, 杨丽亚, 和笑天
(中原环保股份有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 改良 A²O 工艺运行过程中,生物池污泥膨胀及其引起的泡沫一直是该工艺的控制难点。郑州市某污水处理厂二期工程于 2019 年八九月份出现丝状菌增多、池面泡沫大量聚集等情况。该污水处理厂采用投加复合药剂快速消除泡沫、生物池污泥快速置换、投加次氯酸钠杀灭丝状菌等 3 种措施轮流进行控制。至 11 月上旬,生物池污泥指数开始下降并稳定在 115 mL/g 左右,达到了有效控制污泥膨胀及其伴随泡沫的目的。

关键词: 改良 A²O 工艺; 污泥膨胀; 泡沫; 复合药剂; 污泥置换; 次氯酸钠

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)10-0105-06

Influences and Control Strategies of Sludge Bulking with Foam in Improved A²O Process

ZHOU Peng, LI Peng-fei, YANG Li-ya, HE Xiao-tian

(Central Plains Environment Protection Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The sludge bulking and its foam problem in the biological tank have always been the control difficulties of improved A²O process. In the second phase of a wastewater treatment plant (WWTP) in Zhengzhou, filamentous bacteria increased and a large number of foam appeared and gathered on the surface of the tank in August and September 2019. The WWTP was controlled in turn by adding composite chemicals to rapidly eliminate the foam, rapidly replacing the sludge in the biological tank, and adding sodium hypochlorite to kill filamentous bacteria. The sludge index of the bioreactor began to decrease and stabilized at about 115 mL/g by early November, which effectively achieves the purpose of controlling sludge bulking and its foam.

Key words: improved A²O process; sludge bulking; foam; composite chemicals; sludge replacement; sodium hypochlorite

污泥膨胀及其伴随的泡沫一直是困扰污水厂正常运行管理的一个棘手问题^[1]。其中污泥膨胀严重影响活性污泥的沉降性能,造成污泥的大量流失,进而增加后续构筑物处理压力,影响出水水质。生物泡沫是漂浮在生物池表面的一层黄褐色泡沫,其黏滞性很强,携带大量活性污泥和气泡,往往在特定

的时间暴发并迅速蔓延,稳定性强,可随混合液流入二沉池中,影响构筑物的可视性,严重时也会影响出水水质^[2]。

1 工程概况

郑州市某污水处理厂设计处理水量为 60×10^4 m³/d,分为一期工程 and 二期工程,处理能力均为

$30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中二期工程共有4个系列,每个系列处理能力均为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用改良 A^2O +混凝、沉淀、过滤+次氯酸钠消毒工艺,出水水质执行河南省《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014)。污泥处理采用高干中温厌氧消化+浓缩脱水+超圆盘干化和生物调理+板框压滤脱水工艺,但因每日污泥处理量的限制,其污泥处理总量往往满足不了工艺要求,导致生物处理系统污泥浓度得不到有效控制,再加上进水碳源低,超越初沉池后生物系统进水含有大量浮渣,且生物系统曝气装置老化,好氧廊道溶解氧控制整体偏低,进水中油脂较多等原因,造成了生物池出现污泥膨胀及其伴随泡沫问题。二期工程工艺流程见图1。

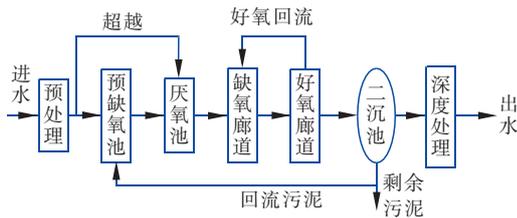


图1 二期工程工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

2 异常现象及原因分析

2019年8月中旬以来,二期工程生物池内生物泡沫逐渐变多,呈暗褐色脂状,最初少量出现在预缺氧池,至9月初,生物池好氧廊道池面上开始出现大量的浮渣泡沫,曝气产生的气泡裹挟着活性污泥开始聚集,在池面形成大面积生物泡沫。其中一部分生物泡沫随混合液进入二沉池,分别在进水渠形成浮泥结块,在池面形成薄薄的分散状浮泥;另一部分随外回流污泥进入预缺氧池,漂浮在池面成团聚集,最终污泥板结。SVI变化如图2所示。

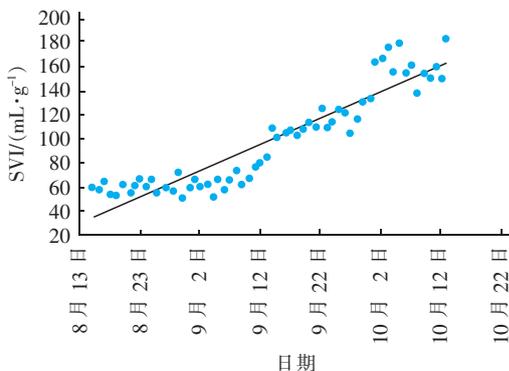


图2 SVI变化趋势

Fig.2 Variation trend of sludge index

通过镜检发现,活性污泥内丝状菌大量繁殖,其菌丝部分已延伸至污泥絮体外部,与曝气气泡、活性污泥相裹挟,形成暗褐色油脂泡沫,同时通过分析发现,污泥指数(SVI)也开始明显上升。

为有效控制此类污泥膨胀及伴随的生物泡沫问题,2019年10月初对活性污泥样品进行镜检及丝状菌革兰氏染色,鉴定结果表明第一优势的丝状菌为*N. limicola*(适应环境:进水酸化,低DO,缺磷),第二优势的丝状菌是type 021N(适应环境:污泥负荷高,缺氮,低DO,进水含有还原性硫,进水有大量低分子有机物)^[3-6]。结合*N. limicola*和type 021N型丝状菌膨胀引起污泥膨胀的条件,综合分析认为:

① 自2019年5月以来二期工程生物池的水温 $\geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ 且逐步上升,为丝状菌*N. limicola*生长提供了适宜的水温环境。

② 二期工程自2019年5月—7月接收了外界大量pH值为2左右的酸性餐厨废水,进水油脂明显增多,导致微生物菌群发生改变,疏水性细菌开始增加,至8月下旬,气泡、表面活性剂、疏水性细菌三者最终形成了大面积的褐色泡沫。

③ 二期工程自2019年8月2日起,所有初沉池开始部分超越,到8月10日所有初沉池全部超越。初沉池浮渣未经处理,随着超越管线直接进入生物池。6月—9月汛期,二期曝气沉砂池部分超越,导致沉砂池的除油功能未能完全发挥,不利于进行油水分离。大量油脂及浮渣未经处理直接进入生物池系统,为丝状菌*N. limicola*的繁殖提供了便利条件。

④ 二期工程随着中秋节、国庆节期间雨天导致的水温、水量波动,生物池SVI从 80 mL/g 快速上升至 160 mL/g ,开始出现大量丝状菌。

⑤ 二期工程自2019年7月开始因污泥处理设施处理量的限制,导致MLSS上升至 4000 mg/L 以上,也客观上对污泥膨胀及泡沫产生了有利影响。

⑥ 二期工程在发生污泥膨胀及伴随泡沫现象之前,好氧中间廊道溶解氧控制偏低,且存在曝气死角,给丝状菌生长营造了低溶解氧的环境。

3 解决措施

通过查阅文献得知,当污泥膨胀严重时, SV_{30} 可高达99%,SVI可达到 300 mL/g ^[7],此时的丝状菌将菌胶团撑散,菌胶团致密性随之被破坏,在曝气的作用下,菌胶团呈游离态,并随水流流失,出水水质

开始恶化^[8-9]。为减少生物池污泥浓度不稳定对各项研究措施的影响,在 8 月初发现池面有泡沫聚集后,开始通过多种方式逐步降低 4 个系列生物池的污泥浓度^[10-13],污泥浓度从 4 500 mg/L 开始降低,直至 9 月 14 日降至 3 300 mg/L 左右开始稳定,但是,随着污泥浓度的降低,污泥负荷的增大,并没有减缓生物池 SVI 上升的趋势,反而造成污泥膨胀现象加剧。随后,为了缓解污泥膨胀带来的一系列负面影响,同时也采取了上调生物池各个好氧廊道溶解氧控制范围,增大好氧池前段的曝气量^[8],并在生物池末端投加 40 mg/L 聚合氯化铝等措施,将 SVI 稳定在 150 mL/g 左右,但实际效果仍然不够理想,污泥膨胀及其伴随泡沫现象依然严峻。为寻求更加有效的解决途径,结合实际生产经验及数据统计,依次总结了 3 种基于改良 A²O 运行模式下控制生物池污泥膨胀及伴随泡沫问题的有效措施。降低污泥浓度期间 SVI 变化趋势如图 3 所示。

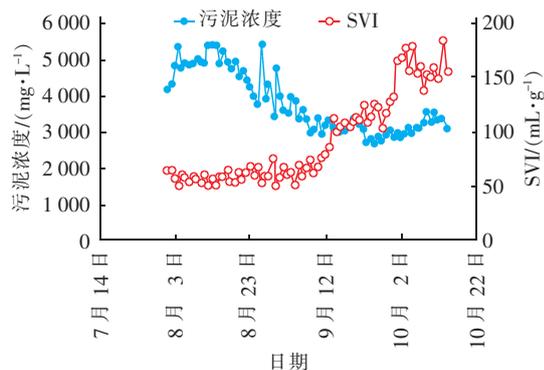


图 3 生物池降低污泥浓度期间 SVI 变化趋势

Fig. 3 Trend of SVI variation during the sludge concentration reduction in biological tank

3.1 生物池中间好氧廊道投加絮凝剂

通过前期在实验室的反复试验得出:当复合药剂(高纯聚合氯化铝、聚合氯化铝和聚胺化合物,含 95% 聚合氯化铝和 5% 聚胺盐)按照 40 mg/L 投加至污泥浓度为 3 500 mg/L 左右的活性污泥中时,菌胶团成团效果及沉降效果最好,具有快速抑制并消除生物池表面泡沫的功能。为快速解决 4 个系列生物池表面的泡沫聚集问题,自 2019 年 10 月 8 日开始投加 40 mg/L 复合药剂到生物池好氧廊道中段位置,连续投加至 10 月 18 日,同时增加了各生物池好氧池推进器的运行台数,以加大生物池内的水力混合。在复合药剂投加周期结束后,生物池、二沉池的泡沫消散较为明显,二沉池的泥位也有所下降,SVI

均值略有下降,但仍维持在 130 ~ 160 mL/g。分析生物池 SVI 变化和生物池、二沉池表面泡沫消散情况可知:投加絮凝剂有助于快速消除生物池表面泡沫,对于降低 SVI 有一定效果,但不明显。投加复合药剂前、后 SVI 变化趋势如图 4 所示。

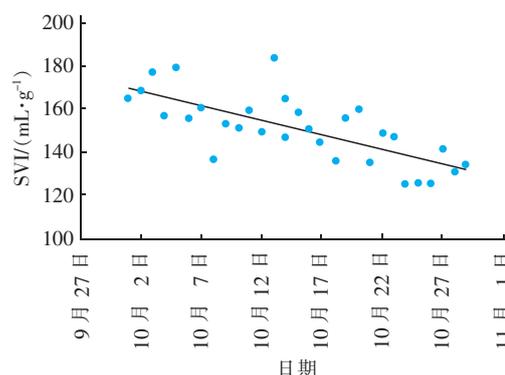


图 4 投加复合药剂前、后 SVI 变化趋势

Fig. 4 Trend of SVI variation before and after composite chemicals dosing

3.2 生物池系统内污泥置换

结合连续镜检及实际运行数据得出:该厂一期工程生物池活性污泥菌胶团结构密实,微生物种类较多且活性较强,无明显菌丝;二期工程生物池活性污泥菌胶团松散,微生物种类较少且非活性微生物增多,活性污泥存在老化现象且丝状菌较多。鉴于一期工程与二期工程剩余排泥管道互相连通,具有进行污泥置换的优势条件,但考虑到二期工程每座生物池的有效池容为 60 500 m³,不能确定每座生物池有效污泥置换总量,故制定了以降低二期工程生物池 SVI ≤ 120 mL/g 为目的的可行性污泥置换方案。自 2019 年 10 月 18 日开始进行二期工程生物池系统内污泥置换:将一期工程的剩余回流污泥浓度为 8 000 mg/L、SVI 均值约为 60 mL/g、体积约 3 200 m³ 活性污泥输送至二期工程生物池回流污泥系统内,每天持续输入约 8 h,在此期间二期工程的剩余回流污泥泵房的外回流设备保持正常运行,剩余排泥系统停止向系统外排泥,以便将一期工程活性良好的污泥完全输入到二期工程的生物池系统内。二期工程的生物池完全接收一期工程的活性污泥之后,二期工程的排泥系统开始排放剩余污泥,每天排放约 7 500 m³ 剩余污泥至泥区车间,进而间接进行二期工程生物池系统内的活性污泥置换。整个置换周期一共持续 20 d,11 月 7 日污泥置换结束。

当污泥置换总量达到整个二期工程生物池池容的1/4时,二期工程各生物池系统SVI均值维持在115 mL/g左右,且保持平稳。在整个污泥置换周期内,二期工程的生物池系统污泥浓度维持在3 400 mg/L左右,且未投加任何絮凝药剂或者助凝药剂,生物池表面泡沫、二沉池进水渠道及其池面浮泥也基本消失。结合污泥置换后的现场效果分析、镜检结果对比及沉降比试验,得出污泥置换可以快速激活系统内微生物活性,表壳虫等非活性微生物开始减少,钟虫、累枝虫等活性微生物开始出现,二期工程生物池内活性污泥的生物活性开始增强,丝状菌相对减少,污泥沉降性能明显改善;同时,连续污泥置换前后4个系列生物池SVI均值变化情况如图5所示。整个置换周期前后,SVI呈下降趋势,表明污泥置换对抑制污泥膨胀、改善沉降性能的效果较明显。

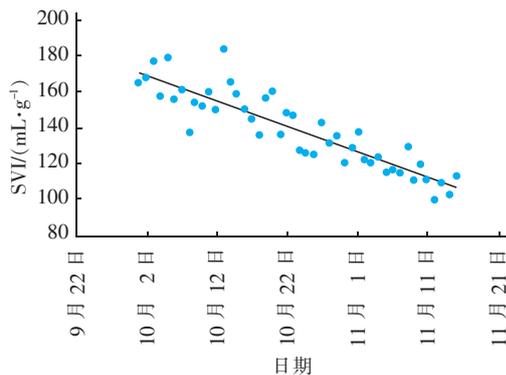


图5 污泥置换前、后SVI变化趋势

Fig. 5 Trend of sludge index changes before and after sludge replacement

污泥置换前后4个系列生物池污泥浓度均值变化如图6所示,整个过程中控制的污泥浓度波动范围较小,降低了污泥浓度对SVI的影响。

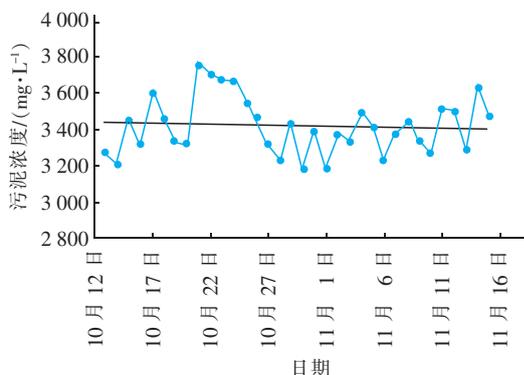


图6 污泥置换前、后污泥浓度变化趋势

Fig. 6 Trend of sludge concentration variation before and after sludge replacement

3.3 生物池系统内投加次氯酸钠

2019年11月1日以后,二期工程生物池水温开始逐渐下降,至12月底,生物池水温由20℃降至16℃左右,活性污泥进入冬季污泥膨胀初期。通过镜检发现,生物池系统活性污泥中仍然存在大量丝状菌,且鉴定为微丝菌膨胀。赵俏迪等^[14]的研究表明,投加次氯酸钠能有效控制微丝菌引起的污泥膨胀,但次氯酸钠在杀灭微丝菌的同时会对其他功能性微生物造成一定损害。为了避免投加次氯酸钠给生物系统造成不可逆的损害,从2019年11月10日开始至2020年初,2个系列的生物池分别投加15、20、25 mg/L的次氯酸钠,其中15、20 mg/L分别持续了10 d,降低SVI效果不明显,随后持续投加25 mg/L的次氯酸钠,12月10日之后SVI降低效果开始较为明显,持续镜检观察以及对应系列生物池SVI计算发现:11月10日—12月31日,投加次氯酸钠的生物池活性污泥丝状菌明显减少,但活性污泥菌胶团结构依然松散,这2个月的SVI基本稳定在115 mL/g,而未投加次氯酸钠的2个系列生物池SVI在污泥置换后出现了回升现象,丝状菌增多,菌丝包裹活性污泥,无法分辨菌胶团致密性,这2个月SVI均值基本稳定在130 mL/g,通过比较发现投加次氯酸钠的生物池微生物种类相比其他生物池有所减少。投加和未投加次氯酸钠生物池的SVI对比见图7。

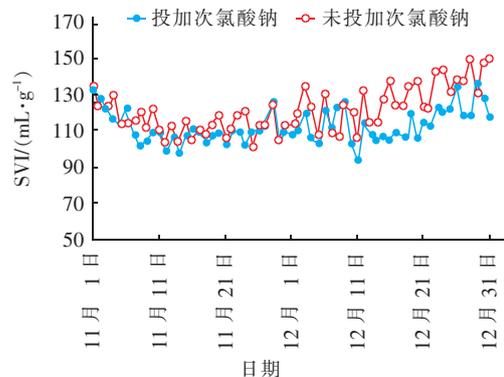


图7 投加次氯酸钠系列与未投加系列的SVI变化趋势

Fig. 7 Trend of sludge index changes with and without sodium hypochlorite dosing

从试验数据及观察结果来看,投加次氯酸钠的生物池SVI在污泥置换之后继续保持稳定,而未投加次氯酸钠的生物池SVI在污泥置换之后约1个月,开始出现SVI明显上升的现象,说明投加次氯酸钠是一种抑制丝状菌膨胀的方法。同时,次氯酸钠

投加量须严格控制,以免大面积破坏生物池微生物系统,进而影响其他出水指标。结合对出水硝酸盐氮等指标的分析(见图 8),可知随着次氯酸钠投加量增大,出水硝酸盐氮也随之上升,次氯酸钠可能对生物系统的反硝化功能产生了抑制作用^[13]。

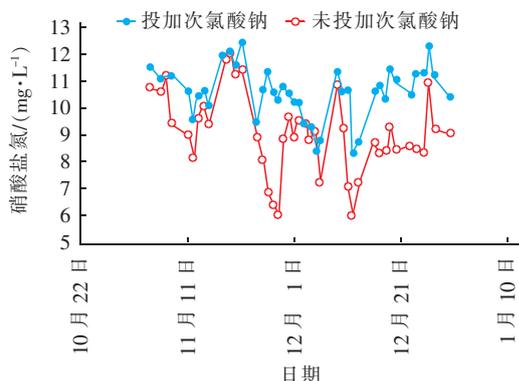


图 8 投加次氯酸钠系列与未投加系列的出水硝酸盐氮变化趋势

Fig. 8 Change trend of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in effluent with and without sodium hypochlorite dosing

本次研究是在二期工程改良 A²O 工艺前提下,整个控制过程中污泥膨胀及其伴随泡沫问题并未影响出水水质,出水均达标排放,且达到了河南省《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014),虽然在此过程中二沉池出水 SS 和 COD 有所升高,但采取降低二沉池的水力负荷、向高效沉淀池投加絮凝药剂、增强三级处理的过滤沉淀效果等措施后,总的出水水质指标较为平稳,影响不大。

4 结论

无论是夏秋交替季节发生的诺卡氏菌污泥膨胀及其伴随的泡沫问题,还是冬季微丝菌引起的污泥膨胀及其伴随的泡沫问题,均是通过实际案例及数据分析总结出来的处理措施。3 种方法针对的实际现象和丝状菌类型不一样,但针对的问题关联性一致,都是针对该厂某个时段一系列生物池污泥膨胀及伴随的泡沫问题,进而得出以下结论:

① 针对 *N. limicola* 和 type 021N 引起的污泥膨胀及伴随泡沫问题,投加复合药剂可以增大活性污泥的密度,使之在二沉池内易于分离,且具有抑制丝状菌繁殖的作用,虽然 SVI 降低效果不明显,但稳定了 SVI,有效消除了生物池的泡沫和浮泥。

② 针对 *N. limicola* 和 type 021N 引起的污泥膨胀及伴随泡沫问题,相比于其他控制措施,生物池

系统污泥置换最快速且有效,它能快速激活系统活性污泥生物活性,抑制丝状菌繁殖,消除泡沫,使生物池 SVI 恢复至正常水平。

③ 针对冬季微丝菌引起污泥膨胀问题,采用投加 25 mg/L 的次氯酸钠杀灭丝状菌的方法,在一定程度上抑制了生物池丝状菌污泥膨胀,但次氯酸钠的投加量需要严格控制,以免破坏生物池内的微生物系统,进而影响其他出水控制指标。

参考文献:

- [1] 郝二成,袁星,卓巍. 污泥膨胀原因及控制措施研究[J]. 环境工程,2017,35(7):18-22.
HAO Ercheng, YUAN Xing, FU Wei. Research on reason for sludge bulking and its control strategy[J]. Environmental Engineering, 2017, 35(7): 18-22 (in Chinese).
- [2] 李宗仁,张新颖,林琳琳,等. 污泥膨胀和生物泡沫的形成机理和控制方法[J]. 净水技术,2018,37(4):28-33.
LI Zongren, ZHANG Xinying, LIN Linlin, et al. Mechanism and control solutions for formation of sludge bulking and biological foaming[J]. Water Purification Technology, 2018, 37(4): 28-33 (in Chinese).
- [3] 刘垚. 微丝菌型活性污泥膨胀的影响因素与调控方法研究[D]. 北京:清华大学,2016.
LIU Yao. Study on the Influence Factors and Control Strategies for Activated Sludge Bulking by *Microthrix parvicella* [D]. Beijing: Tsinghua University, 2016 (in Chinese).
- [4] 陈安稳,时翔云,于鲁冀,等. 污泥膨胀的原因及其控制方法[J]. 中国农学通报,2016,22(12):296-299.
CHEN Anwen, SHI Xiangyun, YU Luji, et al. Study on activated sludge bulking and control [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(12): 296-299 (in Chinese).
- [5] 张崇森,牛全睿,徐丽梅,等. 膨胀污泥中丝状菌的分离鉴定与特性分析[J]. 环境科学,2017,38(6):2477-2485.
ZHANG Chongmiao, NIU Quanrui, XU Limei, et al. Isolation, identification and characterization of the filamentous microorganisms from bulking sludge [J]. Environmental Science, 2017, 38(6): 2477-2485 (in Chinese).
- [6] 端正花,潘留明,陈晓欧,等. 低温下活性污泥膨胀的

- 微生物群落结构研究[J]. 环境科学,2016,37(3):1070-1074.
- DUAN Zhenghua, PAN Liuming, CHEN Xiao'ou, *et al.* Changes of microbial community structure in activated sludge bulking at low temperature [J]. Environmental Science, 2016, 37(3): 1070-1074 (in Chinese).
- [7] 徐天凯, 彭党聪, 徐涛, 等. 城市污水处理厂 A²/O 工艺污泥膨胀与上浮的诊断[J]. 中国给水排水, 2016, 36(23): 31-35.
- XU Tiankai, PENG Dangcong, XU Tao, *et al.* Diagnosis of sludge bulking and floating in A²/O process in municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 36(23): 31-35 (in Chinese).
- [8] 王社平, 邵军峰, 万琼, 等. A²/O 工艺中二沉池污泥上浮的原因与对策[J]. 中国给水排水, 2010, 26(13): 43-45, 49.
- WANG Sheping, SHAO Junfeng, WAN Qiong, *et al.* Causes and countermeasures on sludge floating in secondary sedimentation tank in A²/O process [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(13): 43-45, 49 (in Chinese).
- [9] 杨敏, 杨思敏, 范念斯, 等. 微丝菌诱发污泥膨胀生长特性控制策略研究进展[J]. 环境工程学报, 2019, 13(2): 253-263.
- YANG Min, YANG Simin, FAN Niansi, *et al.* Progress in sludge bulking caused by *Microthrix parvicella* and its control strategy [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(2): 253-263 (in Chinese).
- [10] 彭永臻, 郭建华. 活性污泥膨胀机理、成因及控制[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- PENG Yongzhen, GUO Jianhua. Mechanism, Cause and Control of Activated Sludge Bulking [M]. Beijing: Science Press, 2012 (in Chinese).
- [11] 李伟杰. 城市污水处理厂生物泡沫的案例分析及控制研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(1): 107-110.
- LI Weijie. Case analysis and control of biological foam for wastewater treatment plant [J]. Environmental Science and Management, 2014, 39(1): 107-110 (in Chinese).
- [12] 王洪臣. 城市污水处理厂运行控制与维护管理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- WANG Hongchen. Operation Control and Maintenance Management of Municipal Wastewater Treatment Plant [M]. Beijing: Science Press, 1997 (in Chinese).
- [13] 戴兴春, 谢冰, 黄民生, 等. 氧化沟污泥膨胀和生物泡沫的控制及应用研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(9): 14-17.
- DAI Xingchun, XIE Bing, HUANG Minsheng, *et al.* Control of sludge bulking and biological foams in oxidation ditch [J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(9): 14-17 (in Chinese).
- [14] 赵俏迪, 彭党聪, 姚倩, 等. 次氯酸钠控制城市污水处理厂微丝菌污泥膨胀[J]. 中国给水排水, 2018, 34(7): 21-25.
- ZHAO Qiaodi, PENG Dangcong, YAO Qian, *et al.* Control of sludge bulking caused by *Microthrix parvicella* using sodium hypochlorite [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(7): 21-25 (in Chinese).

作者简介: 周鹏(1984-), 男, 河南郑州人, 本科, 高级工程师, 主要从事城市污水处理运营管理工作。

E-mail: zhoupeng@cpepgc.com

收稿日期: 2020-03-26

修回日期: 2020-07-06

(编辑: 衣春敏)

治理水土流失 建设美丽中国