

# 次氯酸钠控制城市污水处理厂微丝菌污泥膨胀

赵俏迪<sup>1</sup>, 彭党聪<sup>1</sup>, 姚倩<sup>1</sup>, 徐天凯<sup>1</sup>, 金虎<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安市水务<集团> 有限责任公司, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 针对由微丝菌引起的城市污水处理厂营养物去除系统的活性污泥膨胀,采用投加次氯酸钠进行氧化控制,探讨不同剂量下次氯酸钠对微丝菌的杀灭效果、活性污泥沉降性能的改善以及对功能微生物(聚磷菌)的损伤和恢复。结果表明,次氯酸钠使裸露于絮体外的菌丝断裂,污泥容积指数减小;随着非丝状菌的增殖和剩余污泥排出,活性污泥沉降性能进一步改善;次氯酸钠的投加量越高,对聚磷菌吸磷和释磷速率影响越大,但聚磷菌释磷速率减小的幅度小于吸磷速率。最佳投药量为 5.3 gCl/kgMLSS,此时 SVI 由未投加次氯酸钠时的 202 mL/g 降至 134 mL/g,最大释磷速率和最大吸磷速率同比分别降低了 11% 和 40%。可见,投加次氯酸钠能有效控制微丝菌引起的污泥膨胀。

**关键词:** 污泥膨胀; 微丝菌; 荧光原位杂交; 次氯酸钠; 释磷速率; 吸磷速率

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)07-0021-05

## Control of Sludge Bulking Caused by *Microthrix parvicella* Using Sodium Hypochlorite

ZHAO Qiao-di<sup>1</sup>, PENG Dang-cong<sup>1</sup>, YAO Qian<sup>1</sup>, XU Tian-kai<sup>1</sup>, JIN Hu<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an Water Group Co. Ltd., Xi'an 710061, China)

**Abstract:** Sludge bulking caused by *Microthrix parvicella* in the municipal wastewater treatment plant was cured by dosing sodium hypochlorite. The improvement of the settlement properties of activated sludge and the damage and recovery of the functional microorganism (PAOs) were investigated with different dosages. The results showed that the sodium hypochlorite could kill *Microthrix parvicella* and cut them into pieces, so that the settlement performance of activated sludge was improved with the proliferation of non-filamentous bacteria and the discharge of residual sludge. The higher the dosage of sodium hypochlorite was employed, the greater damage on the phosphorus release rate and phosphorus uptake rate was observed. However, the effect on phosphorus uptake rate of PAOs was greater than that on the phosphorus release rate. The sludge SVI was reduced from 202 mL/g to 134 mL/g with optimal dosage of 5.3 gCl/kgMLSS of sodium hypochlorite. At the same time, percentages of the maximum specific phosphorus release rate and the maximum specific phosphorus uptake rate were reduced by 11% and 40% respectively. Sodium hypochlorite can be used to control the sludge bulking caused by *Microthrix parvicella*.

**Key words:** sludge bulking; *Microthrix parvicella*; fluorescence in situ hybridization (FISH); sodium hypochlorite; phosphorus release rate; phosphorus uptake rate

A<sup>2</sup>/O 工艺作为脱氮除磷的主流工艺,具有水力停留时间短、易控制等优点,已成为城市污水处理厂去除营养物最主要的工艺之一。但在冬季温度较低时,微丝菌(简称 MP)与聚磷菌竞争基质时具有优势<sup>[1]</sup>,导致其过度增殖,易引发污泥膨胀,造成出水 SS 升高、污泥大量流失、出水水质变差等问题,影响污水处理厂的正常运行。因此,如何控制 MP 的增长,维持活性污泥优良的沉降性能,是具有营养物去除功能的城市污水处理厂运行管理所面临的重要问题。

针对 MP 引起的污泥膨胀,国内外进行了大量的研究。如调整负荷<sup>[2]</sup>、采取臭氧氧化<sup>[3]</sup>、投加 PAX-14<sup>[4]</sup>和次氯酸钠<sup>[5]</sup>等。其中投加化学药剂是一种可行的措施,但并未对污泥中功能微生物的损伤进行研究。因此,研究化学药剂对 MP 的杀灭效果及污泥沉降性能的改善并深入了解其对聚磷菌的损伤情况,对污水处理厂的设计及运行具有重要指导意义。

笔者针对西安第五污水处理厂 A<sup>2</sup>/O 工艺由 MP 引起的污泥膨胀,采用投加次氯酸钠进行控制,研究 MP 的形态及污泥沉降性能的变化,在此基础上探讨次氯酸钠对污泥释磷速率、吸磷速率和吸收单位乙酸的释磷量的影响,以期为城市污水处理厂污泥膨胀问题的解决提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验污泥

试验污泥取自西安市第五污水处理厂的 A<sup>2</sup>/O 工艺,其 MLSS 为 4.547 g/L,MLVSS 为 3.179 g/L,SV 为 92%,SVI 为 202 mL/g,为典型的营养物去除系统膨胀污泥。污泥的最大释磷速率和吸磷速率分别为 6.860 和 4.507 mgP/(gVSS·h),吸收单位乙酸的释磷量(P/HAc)为 0.371 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/gHAc。取样期间,污水厂出水磷浓度<0.5 mg/L,除 SVI 值较高外,其余指标均正常。

### 1.2 试验方法

对污泥进行淘洗以去除多余基质,并用纯水稀释至原体积,然后测定其 MLSS、MLVSS、SV、最大释磷速率、最大吸磷速率和 P/HAc。

取 500 mL 经淘洗后的污泥置于 7 个容积为

1 000 mL 的反应瓶中,随后分别加入有效氯为 10% 的次氯酸钠溶液 0、4.0、5.3、6.6、8.0、10.6、13.3 gCl/kgMLSS,搅拌反应 40 min,用纯水淘洗以去除多余的次氯酸钠,取样进行镜检,同时测定 SV 及最大释磷速率、最大吸磷速率、P/HAc,以判断次氯酸钠直接作用后对 MP 的杀灭效果和功能菌损伤情况。

对次氯酸钠作用后的污泥进行连续培养,培养条件为厌氧 1 h、好氧 2 h,培养时间为 10 周期。培养期间每隔一定时间取样测定 SV 和污泥活性,并对 MP 的形态变化进行镜检,以此判断连续培养过程中 MP 恢复效果及污泥沉降性能改善情况。

### 1.3 常规指标测定方法

MLSS 和 MLVSS:重量法;PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P:钼锑抗分光光度法;SV:30 min 沉降法;乙酸:气相色谱法。

### 1.4 染色

依据 Jenkins 等<sup>[6]</sup>所编著的《污泥膨胀控制技术手册》中的纳氏染色法和革兰氏染色法对污泥中的微生物进行染色,采用尼康 90i 显微镜进行观察;采用 Sezgin 等推荐的方法测定活性污泥中丝状菌的总扩展丝长(TEFL),其中,菌丝长度采用 NIS-Elements AR 软件进行测量。

### 1.5 荧光原位杂交

将待测活性污泥首先用纯水淘洗三遍,去除其中干扰荧光测定的物质,然后用纯水稀释至原有体积,取淘洗后的混合液 1 mL,加入 1×PBS 缓冲溶液重悬,重复操作两次后,加入 1 mL、4% 的多聚甲醛溶液重悬,置于 4℃ 下固定 2 h,然后离心去除上清液,加入 1×PBS 缓冲溶液离心,重复三次,以洗去多余的多聚甲醛,加入 1:1 的 PBS 缓冲溶液和无水乙醇,摇匀,置于 -20℃ 下保存。用荧光原位杂交,具体杂交步骤参考 Nielsen<sup>[7]</sup>和 Erhart<sup>[8]</sup>等描述的方法进行,所用的探针为 MPAmix(MPA60 + MPA223 + MPA645)和 EUBmix(EUB338 + EUB338-Ⅱ + EUB338-Ⅲ),分别用于测定 MP 和总细菌。杂交完成后,使用激光共聚焦显微镜(TCS SP8)进行观察。

### 1.6 最大释磷和吸磷速率的测定

活性污泥的最大释磷和吸磷速率采用间歇试验

法测定<sup>[9]</sup>,具体步骤如下:将反应瓶中 500 mL 污泥淘洗以去除残余基质,加入配制好的基质溶液,反应瓶底部设置磁力转子以保证完全混合状态,先厌氧反应 4 h(通入氮气)再好氧反应 6 h(充分曝气)。在不同时间点取样,测定磷和乙酸的浓度,试验结束后测定活性污泥的 SS 和 VSS,用于计算最大释磷速率、最大吸磷速率和吸收单位乙酸的释磷量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微丝菌的检测

图 1 为试验污泥的染色和 FISH 照片。污泥中的丝状菌呈纳氏阳性和革兰氏阳性,符合 MP 的基本生理特征,荧光原位杂交(FISH)分析确认污泥中的丝状菌为典型的 MP(蓝色为总细菌,绿色为 MP),这一结果与此前报道的西安第五污水处理厂膨胀污泥中的丝状菌菌群一致<sup>[10]</sup>,也与目前国内外报道的营养物去除系统中普遍存在的丝状菌菌群相同。污泥中的 MP 大部分菌丝伸出污泥絮体,呈卷曲状,无分枝,菌丝长度达 250  $\mu\text{m}$ ,菌丝之间相互缠绕,阻碍了污泥絮体之间凝聚成大絮体,导致污泥 SV 升高,沉淀性能变差。

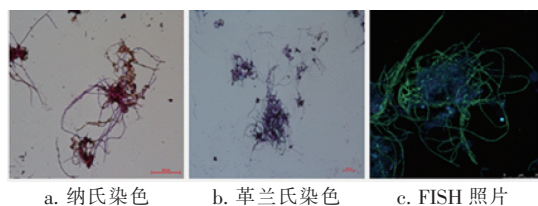


图 1 污泥的染色及 FISH 照片

Fig. 1 Micrographs of experimental sludge

### 2.2 次氯酸钠对微丝菌形态的影响

图 2 为投加不同剂量的次氯酸钠反应 40 min 以及培养 10 周期后 MP 的形态变化情况。其中,1、2、3、4、5、6 对应的次氯酸钠投加量分别为 4.0、5.3、6.6、8.0、10.6、13.3  $\text{gCl/kgMLSS}$ ;a、b 代表投药反应 40 min 末端,c、d 表示连续培养 10 周期末端;a、c 为革兰氏染色,b、d 为纳氏染色。由于次氯酸钠的氧化作用,伸出活性污泥絮体表面的 MP 断裂,菌丝变短,相互之间不再缠绕,且次氯酸钠投加量越高,污泥中断裂的菌丝越多。连续培养 10 周期后,由于非丝状菌的增殖和剩余污泥的排出,污泥中断裂的菌丝减少。次氯酸钠投加量较少时(4.0  $\text{gCl/kgMLSS}$ ),仍有菌丝较长的 MP 伸出絮体外;投加量较多时(10.6、13.3  $\text{gCl/kgMLSS}$ ),伸出絮体外的 MP 基本没有。次氯酸钠投加量 > 10.6  $\text{gCl/kgMLSS}$

时,混合液中断裂的 MP 较多,这些断裂的菌丝对污泥沉降性能有影响。培养 10 周期后,污泥絮体表面伸出的 MP 较短,此时 MP 对污泥沉降性能没有影响。

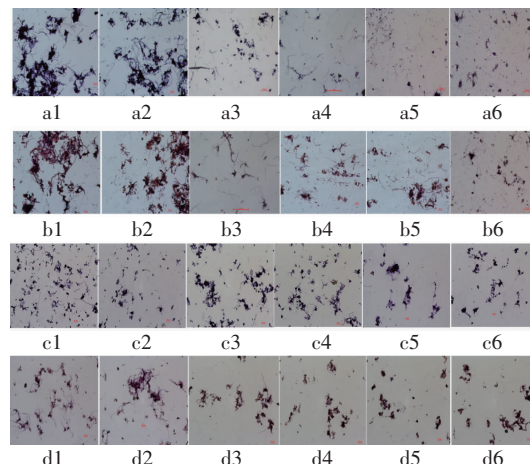


图 2 不同剂量的次氯酸钠对 MP 形态的影响

Fig. 2 Effects of different doses of sodium hypochlorite on morphology of MP

### 2.3 次氯酸钠对污泥沉降性能的影响

图 3 为不同次氯酸钠投量下,连续培养过程中污泥 SVI 的变化情况。

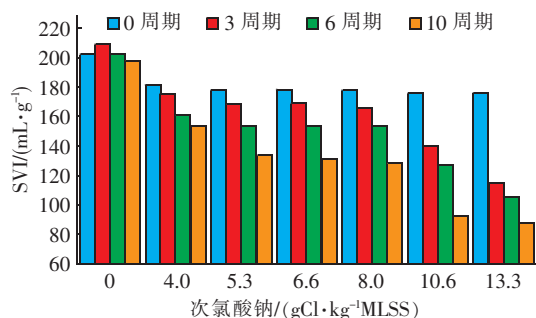


图 3 不同剂量的次氯酸钠对污泥沉降性能的影响

Fig. 3 Effect of different doses of sodium hypochlorite on settlement properties of sludge

经次氯酸钠直接作用后,由于断裂的菌丝游离在混合液中,污泥沉降性能略有改善,不同投加量下污泥的 SVI 均由 202  $\text{mL/g}$  降至 179  $\text{mL/g}$  左右。连续培养过程中由于非丝状菌的增殖以及剩余污泥的排出,不同次氯酸钠投量下(投加量为零时除外)污泥 SVI 均随培养时间呈阶梯减小。培养 10 周期后,次氯酸钠投量较少时,随投加量增大污泥 SVI 持续大幅度减少;当投量为 5.3  $\text{gCl/kgMLSS}$  时,SVI 降至 134  $\text{mL/g}$ ,其后,SVI 随投量的增大呈缓慢减小趋



势;当投量达 10.6 gCl/kgMLSS 时,SVI 又大幅度减小,降至 88 mL/g,其后,随次氯酸钠投加量的增大则 SVI 不再明显变化。

#### 2.4 次氯酸钠对聚磷菌的影响

当未投加次氯酸钠时活性污泥的最大释磷速率与吸磷速率分别为 6.860 和 4.50 mgP/(gVSS·h), P/HAc 为 0.371 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/gHAc。

以投加次氯酸钠后污泥的最大释磷速率、最大吸磷速率以及 P/HAc 与原始污泥的相应值之比( $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ )表征次氯酸钠对聚磷菌的影响,结果见图 4。随着次氯酸钠投量的增加,释磷速率和吸磷速率均减小,这是由于次氯酸钠的非选择性氧化作用,在杀灭 MP 的同时,污泥絮体表面的 PAOs 同时被损伤所致,且投加量越大,次氯酸钠扩散入絮体内部的深度也越大,对功能性微生物的损伤越严重。而为何次氯酸钠对污泥吸磷速率的影响大于释磷速率尚不明确,可能是由于次氯酸钠对聚磷酶的损伤作用较大。

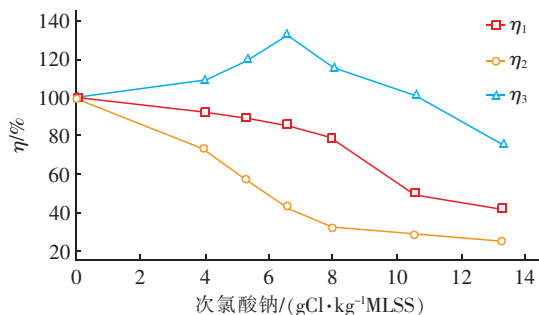


图4 不同剂量的次氯酸钠对聚磷菌的影响

Fig. 4 Effect of different doses of sodium hypochlorite on PAOs

次氯酸钠投加量对 P/HAc 的影响则较为特殊,呈现出先增大后减小的趋势。P/HAc 值反映了聚磷菌竞争乙酸的能力,该值增大,说明污泥中与聚磷菌竞争乙酸的微生物含量减少<sup>[10]</sup>。当次氯酸钠的投量较低时,随其投量的增大,MP 逐渐被杀灭,单位污泥中与聚磷菌竞争的微生物减少,导致 P/HAc 逐渐增大;当次氯酸钠的投加量为 6.6 gCl/kgMLSS 时,P/HAc 达到最大值(131%);其后,随着次氯酸钠投量的进一步增加,由于次氯酸钠对聚磷菌的损伤增大,导致聚磷菌吸收乙酸的能力减弱,即 P/HAc 值减小。

综上所述,为改善污泥沉降性能以及保证聚磷菌的除磷效果,最佳的次氯酸钠投加量为 5.3 gCl/

kgMLSS,此时,污泥 SVI 由 202 mL/g 降至 134 mL/g,活性污泥沉降性能基本恢复,其释磷速率比原始污泥仅降低了 11%,既解决了污泥膨胀问题,又对功能性微生物影响不大。

#### 3 结论

① 投加次氯酸钠可杀灭 MP,使伸出活性污泥絮体外的 MP 菌丝断裂,从而降低活性污泥的 SVI,控制 MP 引起的污泥膨胀,改善污泥沉降性能。

② 次氯酸钠在杀灭 MP 的同时,对其他功能性微生物也具有一定损伤,且投加量越大,对功能菌的损伤越大。以聚磷菌为例,释磷速率和吸磷速率均减小,且释磷速率减小的幅度小于吸磷速率。

③ 次氯酸钠的最佳投量为 5.3 gCl/kgMLSS,此时聚磷菌的释磷速率降低了 11%,吸磷速率降低了 40%,SVI 由 202 mL/g 降至 134 mL/g。

#### 参考文献:

- [1] Knoop S, Kunst S. Influence of temperature and sludge loading on activated sludge settling, especially on *Microthrix parvicella* [J]. Water Sci Technol, 1998, 37(4/5): 27-35.
- [2] 邱勇,刘焱. 微丝菌型污泥膨胀的工艺负荷调控方法 [J]. 环境工程学报, 2017, 11(4): 2268-2272.  
Qiu Yong, Liu Yao. Optimizing process loading rates to control activated sludge bulking by *Microthrix parvicella* [J]. Techniques and Equipment for Pollution Control, 2017, 11(4): 2268-2272 (in Chinese).
- [3] Nilsson F, Hagman M, Mielczarek A T, et al. Application of ozone in full-scale to reduce filamentous bulking sludge at Oresundsverket WWTP [J]. Ozone Sci Eng, 2014, 36(3): 238-243.
- [4] Roels T, Dauwe F, Van Damme S, et al. The influence of PAX-14 on activated sludge systems and in particular on *Microthrix parvicella* [J]. Water Sci Technol, 2002, 46: 487-490.
- [5] Xie B, Dai X C, Xu Y T. Cause and pre-alarm control of bulking and foaming by *Microthrix parvicella*—A case study in triple oxidation ditch at a wastewater treatment plant [J]. Science Direct, 2007, 143: 184-191.
- [6] Jenkins D, Richard M, Daigger G. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems (3rd Edition) [M]. London: CRC Press, 2004.
- [7] Nielsen P H, Daims H, Lammer H. FISH Handbook for

Biological Wastewater Treatment—Identification and Quantification of Microorganisms in Activated Sludge and Biofilms by FISH[M]. London:IWA Publishing,2009.

- [8] Erhart R,Bradford D,Seviour R J,*et al.* Development and use of fluorescent *in situ* hybridization probes for the detection and identification of “*Microthrix parvicella*” in activated sludge[J]. *System Appl Microbiol*,1997,20(2):310–318.

- [9] 彭党聪,樊香妮,张玲,等. 温度对生物除磷系统微生物种群关系及动力学的影响[J]. *环境工程学报*,2017,11(4):2091–2096.

Peng Dangcong,Fan Xiangni,Zhang Ling,*et al.* Effects of temperature on dynamics and microbial community structure of enhanced biological phosphorous removal[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*,2017,11(4):2091–2096(in Chinese).

- [10] 徐天凯,彭党聪,徐涛,等. 城市污水处理厂工艺污泥膨胀与上浮的诊断[J]. *中国给水排水*,2016,32(23):31–35.

Xu Tiankai,Peng Dangcong,Xu Tao,*et al.* Diagnosis of

sludge bulking and floating in A<sup>2</sup>/O process in municipal wastewater treatment plant[J]. *China Water & Wastewater*,2016,32(23):31–35(in Chinese).



作者简介:赵俏迪(1993–),女,河南洛阳人,硕士研究生,研究方向为污水生物处理技术。

E-mail:15029287016@163.com

收稿日期:2017–12–12

(上接第20页)

Pan Jun,Li Boyao,Ma Yue,*et al.* The removal ability analysis of different manganese sand filter materials in groundwater[J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science*,2014,30(3):542–546(in Chinese).

- [5] 李继震. 接触氧化除铁除锰机理的探讨[J]. *中国给水排水*,2010,26(18):6–8.

Li Jizhen. Investigation on mechanism of iron and manganese removal by contact oxidation[J]. *China Water & Wastewater*,2010,26(18):6–8(in Chinese).

- [6] 张建锋,蒋亦媛,孙丽萍,等. 锰质滤膜的成分分析及除锰性能研究[J]. *水处理技术*,2012,38(8):47–50.  
Zhang Jianfeng,Jiang Yiyuan,Sun Liping,*et al.* Component analysis and artificial synthesis of precipitate on surface of manganese greensand[J]. *Technology of Water Treatment*,2012,38(8):47–50(in Chinese).

- [7] 刘峰,陈虎,随伟伟,等. 生物填料–砂滤强化去除饮用水中氨氮中试[J]. *水处理技术*,2015,41(2):102–107.

Liu Feng,Chen Hu,Sui Weiwei,*et al.* Pilot test on the

removal of ammonia-N in drinking water enhanced by biological filler-sand filtration[J]. *Technology of Water Treatment*,2015,41(2):102–107(in Chinese).



作者简介:郭峰(1990–),男,河北沧州人,硕士研究生,从事地下水除铁除锰技术研究。

E-mail:610041482@qq.com

收稿日期:2017–12–20