

基于磷酸盐还原工艺的解体污泥活性恢复研究

徐 丽,刘潇锋,马兴冠,魏文涛

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 探究导致磷酸盐还原污泥解体的原因和恢复方法,为进一步研究磷酸盐还原污泥的特性及系统恢复提供借鉴. 方法 在进行解体污泥恢复试验之前一次性加入助凝剂硫酸亚铁,维持3d后,通过3组试验进行解体污泥的恢复研究.3组方案分别通过改善环境pH值、营养物质比例以及温度,考察恢复过程中污泥性质和水质指标的变化,并对这些变化进行分析. 结果 加入硫酸亚铁后,反应器内污泥污泥膨胀指数(SVI)迅速降低,但维持到第2天后SVI值再次升高甚至超过初始状态.在进行污泥活性恢复的3组试验中,第I组调整pH值,经过30d的运行,SVI值依然超出污泥膨胀限值的0.66倍,水处理效率依然较差.第II组调整营养比例,在22d内污泥解体现象得到缓解,但污泥活性尚未恢复.第III组调整温度,系统到运行20d,污泥趋于稳定,处理效率得到明显提升,污泥解体现象得以解决. 结论 硫酸亚铁可以短时间缓解污泥解体现象,但不能从根本上解决污泥解体问题.污泥解体是由于温度改变造成的,pH值和营养比例不是造成污泥解体的主要原因,调节温度至理想条件是恢复污泥解体活性的最佳方法.

关键词 污泥解体;磷酸盐还原;SVI;SV

中图分类号 X703.1

文献标志码 A

The Activities Recovered of Disintegrated Sludge Based on Phosphate Reduction Technology

XU Li, LIU Xiaofeng, MA Xingguan, WEI Wentao

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: This paper aims to exploration the reason and recovering method of the disintegrated sludge of phosphate reduction technology, for further study the properties of phosphate reduction and its system recovery. Before the disintegrated sludge recovered test, certain amount of the coagulant ferrous sulfate was added to maintain three days. The recovery of disintegrated sludge was carried out by three groups of experiments. Three groups were selected by improving the environmental pH, the proportion of nutrients and the temperature. During the recovery process, the changes in sludge property and water quality indicator were examined and analyzed. As a result, after

收稿日期:2016-12-19

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07202011)

作者简介:徐丽(1974—),女,副教授,博士,主要从事水污染治理研究.

adding ferrisulfas, the *SVI* value in the reactor is rapidly reduced, but after the second day, the *SVI* value increases again or even beyond the initial state. In the 3 groups of experiments, after adjusting the pH value in the first group, the *SVI* still exceeds 0.66 times of the sludge bulking limit after 30d of operation, and the water treatment efficiency is still poor. After adjusting the ratio of the nutrients in the second group, the disintegration of the sludge has been alleviated in 22 days, but the activity of sludge has not yet been restored. In the third group, after raising the temperature, the sludge characteristics tend to keep constant after 20d of operation, and the efficiency is significantly improved. The disintegrated sludge has been effectively controlled. So, the ferrisulfas can relieve the problem of disintegrated sludge, but it cannot fundamentally solve the problem of sludge disintegration. The disintegration of the sludge was caused by temperature change. The pH value and the nutrient ratio are not the main reasons for the disintegration of the sludge. The best method to restore the activity of the disintegration sludge is to adjust the temperature to the ideal condition.

Key words: disintegrated sludge; phosphate reduction; *SVI*; *SV*

1988 年, Devai 在对污水厂进行磷素的物料衡算时发现水厂中的磷素不能满足磷素平衡, 当时用磷循环及相关知识无法解释磷损失的现象^[1]. 随后 Devai 假想系统中磷素的损失可能为气体还原性磷化合物, 磷化氢, 并用气相色谱 (GC) - 质谱分析 (MS) 技术鉴定了磷化氢的产生及产量. 由此, 磷酸盐还原现象得到广泛认可, 也改变了人们对磷素循环的认知^[2-6]. 磷酸盐还原工艺以其特有的成本优势、效能优势逐渐成为除磷工艺的研究热点^[7]. 然而, 在对磷酸盐还原反应进行工艺探究的过程中, 系统出现污泥解体的现象, 导致污泥沉降性能降低, 出水水质恶化, 最终造成系统崩溃^[8-15]. 到目前, 关于磷酸盐还原污泥解体恢复的文献鲜有报道. 因此, 笔者通过磷酸盐还原系统恢复及重新启动过程中进行的各种尝试分析磷酸盐还原解体的原因, 探究污泥解体的原因和恢复办法, 为进一步研究磷酸盐还原污泥的特性及系统恢复提供借鉴.

1 试 验

1.1 试验装置

试验装置采用有机玻璃制成的 UASB

反应器 (见图 1). 反应器有效容积 10.38 L. 利用进水控制反应器将温度控制在 $(30 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 进水和循环水依靠蠕动泵 24h 连续工作, 水量为 120 ~ 300 mL/min, 进水使用 NaHCO_3 等缓冲剂将进水 pH 控制在 7 ~ 8.

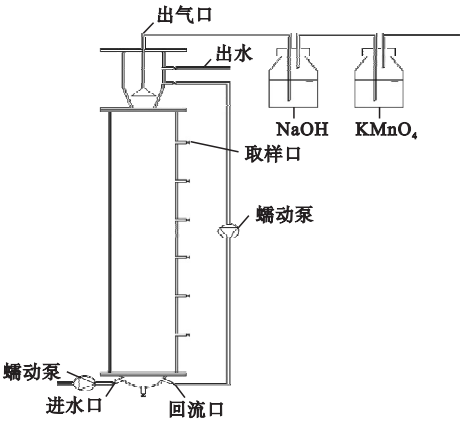


图 1 UASB 反应器运行装置图

Fig. 1 UASB reactor operating device diagram

1.2 模拟废水及试验用污泥

试验用废水采用污泥解体前进水水质, 配制葡萄糖 1 500 mg/L; NH_4Cl 150 mg/L; KH_2PO_4 15 mg/L^[16]; 按照微生物的生长需求添加微量元素 0.3 mL/L, 微量元素配制如表 1 所示.

表 1 微量元素质量浓度

Table 1 The concentrate of trace elements

$\rho(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$	$\rho(\text{MnCl}_2)$	$\rho(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$	$\rho(\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$	$\rho((\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24})$	$\rho(\text{CoCl}_2)$
0.24	0.24	3.00	0.06	0.36	0.30

试验所用污泥为解体后污泥,其表观形态为污泥絮体均漂浮在水体表层,污泥的颜色呈棕黄色,且由上至下逐渐加深.下层水体浑浊,并有丝状物质悬浮于反应器中.并检测此时反应器对模拟废水的 COD 去除率为 8.23%;磷酸盐去除率为 25.98%;铵盐去除率为 3.24%;pH 值为 5.4;温度为 15 ℃;污泥沉降比(SV)为 91%;污泥沉降指数(SVI)为 367 mL/g,超出污泥膨胀限值的 1.45 倍.污泥解体前的表观形态为污泥絮体结构密实,污泥的颜色呈黑色. COD 的平均去除率为 83.73%;磷酸盐的平均去除率为 34.21%;铵盐的平均去除率为 76.46%;pH 为 7.0~8.0;温度为(30±1)℃;污泥的 SV 为 21%;SVI 值为 117 mL/g.

1.3 试验方案

将解体污泥均匀分为 2 组(A、B),通过向反应器中投加硫酸亚铁,通过每 24h 测定 SVI,分析亚铁盐是否对解体的污泥具有恢复作用.之后将解体的污泥混匀平均分为 3 组(I、II、III)进行污泥恢复,分别对 pH 条件、营养条件、温度条件进行单因素试验,分析影响污泥解体的因素及恢复条件.试验条件为:pH 在 7.5~8.0^[17];营养比例调整为进水比例^[18];温度调整为(30±1)℃^[19];每 24h 测定污泥的 SV、SVI 值及水体中有机物和磷酸盐的去除量作为鉴定污泥恢复的指标.

1.4 试验方法

COD、PO₄³⁻-P、NH₄⁺-N、MLSS 质量浓度、MLVSS 质量浓度等测定及分析方法执行《水和废水检测分析方法》(4 版). 试验测定指标与方法如表 2 所示.

表 2 试验测定方法

测定指标	测定方法
COD	快速密闭分光光度法
PO ₄ ³⁻ -P	过硫酸钾-钼锑抗分光光度法
NH ₄ ⁺ -N	纳氏分光光度法
MLSS、MLVSS	重量法
温度	温度计
pH	酸度计

2 试验结果与分析

2.1 解体污泥的应急处理

亚铁盐等絮凝剂具有直接提高污泥絮体的严密性^[20],加速污泥沉降速度的效果.因此,在系统恢复之前,向 A 组中添加 50 mg/L 的亚铁盐,B 组中不添加任何絮凝剂,观察反应器内污泥变化状况.系统中 COD 去除率变化、磷酸盐去除率变化及污泥 SVI 值变化如图 2、图 3 所示.

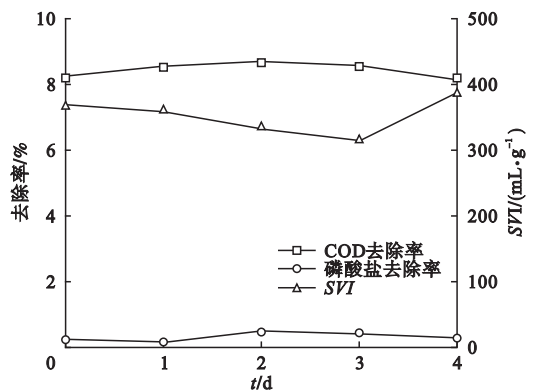


图 2 加入硫酸亚铁后系统的变化

Fig. 2 The change in the system after ferrous sulfate added

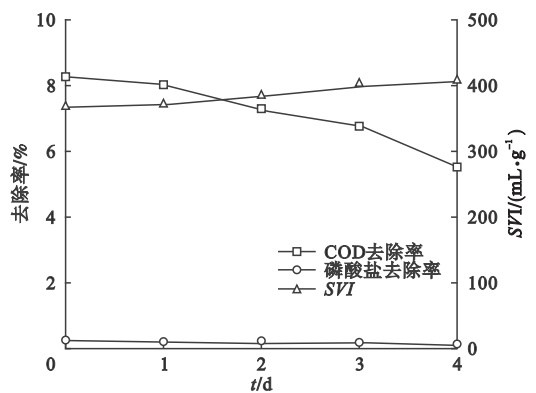


图 3 未加入硫酸亚铁后系统的变化

Fig. 3 The change in the system before ferrous sulfate added

由图 2 可以得到,A 组中加入的絮凝剂硫酸亚铁可以在较短的时间内对解体的污泥起到加速沉降的效果,其 SVI 值从 367 mL/g 下降到 312 mL/g,约下降了 15%,但是第 3 天之后,污泥回到初始膨胀解体时的状态.同

时观察到,加入絮凝剂前后,污泥性能从 COD 和磷酸盐的去除率的数据指标上并没有明显变化.由图 3 可知,由于 B 组中未加入絮凝剂硫酸亚铁,故污泥的沉降性能继续降低,SVI 值从367 mL/g 上升到 404 mL/g,约上升了 10%.同时观察到,COD 和磷酸盐的去除率继续降低,污泥的性能继续恶化.

虽然硫酸亚铁并没有从根本上缓解污泥解体所带来的系统崩溃的问题,但在系统恢复中能短期内提升污泥絮体严密性,加快沉降速度,故在进行解体污泥活性恢复试验时,向第 I、II、III 三个试验组中加入 50 mg/L 的硫酸亚铁.

2.2 pH 对解决污泥解体的影响

通过向进水中加入碳酸钠和碳酸氢钠将第 I 组反应器内 pH 值调整到 7.5 ~ 8.0. 反应器中各项指标变化如图 4 所示.

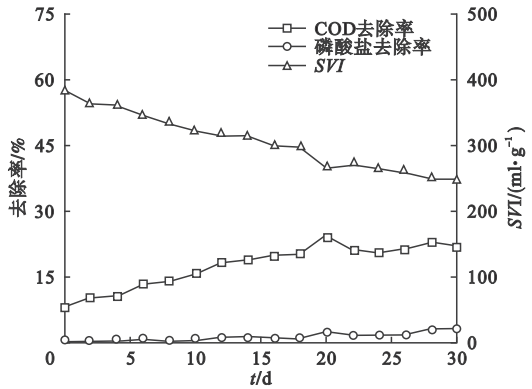


图 4 调整 pH 值后系统的变化

Fig. 4 The change in the system after pH value adjusted

反应器从调整 pH 值开始,SVI 值有微弱降低.经过 30 d 对 pH 值的调整,最终的 SVI 值为 249 mL/g,依然超出污泥膨胀限值的 0.66 倍, COD 去除率从 8.10% 提高到 22.01%,磷酸盐去除率从 0.33% 提高到 3.02%,两者提升的幅度甚微,完全没有恢复到污泥解体之前的水平和状态.污泥沉降性依然较差.因此,调整 pH 值虽可能有助于改善微生物活性和恢复污泥沉降性,但是并不是造成污泥解体的最主要因素.

2.3 营养盐比例对解决污泥解体的影响

按照驯化污泥的营养盐比例,迅速将第 II 组反应器中各种营养盐质量浓度比例调整为适宜磷酸盐还原菌生长的质量浓度比例^[16] 100: 10: 3,此时的进水质量浓度葡萄糖为 1 500 mg/L; $\rho(\text{NH}_4\text{Cl})$ 为 150 mg/L; $\rho(\text{KH}_2\text{PO}_4)$ 为 45 mg/L. 反应器中检测到各种污泥指标如图 5 所示.

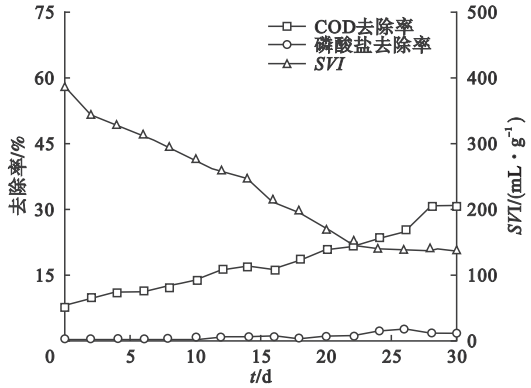


图 5 调整营养盐比例后系统的变化

Fig. 5 The change in the system after nutrient ratio adjusted

反应器从调整营养质量浓度开始,SVI 值有明显降低,到运行的第 22 天,SVI 值降至 150 mL/g 以下,SV 降到 50% 以下,污泥活性有所改善,但相比于第 I 组,恢复的时间较长.此后至反应结束,SVI 值和 SV 趋于稳定,分别为 139 mL/g 和 63%,污泥活性显然还尚未恢复至最佳.而 COD 去除率与第 I 组相比,增长缓慢,磷酸盐去除率分别为 31.13% 和 2.11%,没有明显改善,显然没有达到正常状态下的去除效率. pH 值约为 6.2,MLSS 质量浓度为 6.08 g/L. 其他指标均也尚未恢复至正常水平和状态.可见,污泥调整营养盐质量浓度比例,运行至第 30 天时 SVI 值降至污泥膨胀限值之下,污泥活性在 30d 内尚未恢复.因此,营养盐比例失衡也不是造成污泥解体的最主要原因.

2.4 温度对解决污泥解体的影响

污泥通过更新控温装置来使第 III 组反应器内温度迅速调整为 $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$. 反应器中

COD 去除率变化、磷酸盐去除率变化及污泥 SVI 值的变化如图 6 所示。

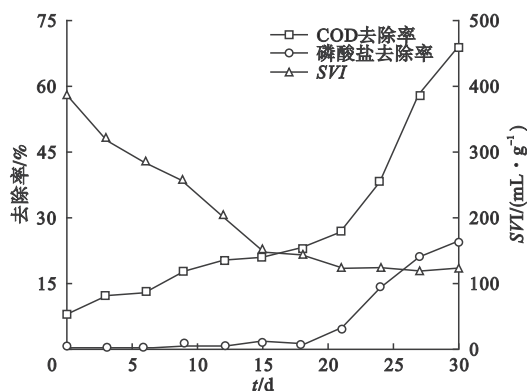


图 6 提高温度后系统的变化

Fig. 6 The change in the system after temperature risen

反应器从提高温度开始,SVI 值有明显降低且幅度较大。直到恢复试验运行的第 10 天,SVI 值降低至 150 mL/g 以下,SV 降到 50% 以下,此时污泥性能得到较好的改善,但 COD 去除率仅呈现微弱增长,磷酸盐去除率没有明显改善。试验的第 14 天,SVI 值降低至 122 mL/g,SV 降到 23%,COD 去除效率和磷酸盐去除效率出现明显增长的趋势。到运行的第 20 天,SVI 值和 SV 均已趋于稳定,分别为 121 mL/g 和 21%,COD 去除效率为 69.23%,磷酸盐的去除效率为 24.83%,虽没有达到正常状态下的去除效率,但也可见其活性的缓慢恢复。pH 值约为 7.1,MLSS 质量浓度为 3.69 g/L。其他污泥指标均也已恢复至正常水平和状态。通过提高温度,污泥的解体现象在 10 d 内得到缓解,活性在 14 d 内开始缓慢恢复。

3 结 论

(1) 絮凝剂硫酸亚铁虽然不能从根本上解决污泥解体问题,但可以在短期内提升絮体严密性,加快沉降速度。

(2) 将反应器 pH 至 7.5~8.0,经 30d 培养后,SVI 值依然超出污泥膨胀限值的 0.66 倍,COD 和磷酸盐的去除率略有提升,因此

调整 pH 值虽能有助于改善微生物活性和污泥沉降性,但是并不是造成污泥解体的最主要因素。

(3) 将反应器内的营养比例调整至正常运行 30d 后,SVI 值和 SV 趋于稳定,但仍未到达最佳状态,第 II 组的 COD 去除率与第 I 组相比,增长缓慢,甚至有负增长现象,磷酸盐去除率没有明显改善,因此,营养盐比例失衡不是造成污泥解体的最主要原因。

(4) 将反应器温度迅速调整至 $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$,经 20d 的培养后,SVI 值和 SV 趋于稳定,COD、磷酸盐的降解达到较为理想的水平,污泥解体现象得到恢复,因此,温度的改善有助于解决污泥的解体现象,是造成污泥解体的是主要原因。

参考文献

- [1] 孙亮. 磷化氢的释放机理及其过程研究[D]. 广州:广州大学,2008.
(SUN Liang. Study on mechanism and process of the phosphine released [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2008.)
- [2] 张颖,邓良伟. 猪场废水厌氧消化过程中的除磷效果[J]. 生态与农村环境学报,2012,28(1):93-97.
(ZHANG Ying, DENG Liangwei. Phosphorus removal from swine wastewater through anaerobic digestion[J]. Journal of ecology and rural environment, 2012, 28(1): 93-97.)
- [3] 刘晖,孙彦富,周康群,等. 厌氧除磷菌的富集及功能菌组成研究[J]. 安徽农业科学,2011(10):5976-5980.
(LIU Hui, SUN Yanfu, ZHOU Kangqun, et al. Enrichment and composition analysis of anaerobic dephosphorization bacteria[J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2011(10): 5976-5980.)
- [4] 荣宏伟,张佩兰,高冠华,等. 磷浓度对厌氧生物除磷效果及其微生物群落结构[J]. 广州大学学报(自然科学版),2013,12(2):88-94.
(RONG Hongwei, ZHANG Peilan, GAO Guanhua, et al. The effects of different phosphorous concentration on results of anaerobic biological phosphate removal from waste water and microbial community structure [J]. Journal of Guangzhou university (natural science), 2013,

- 12(2):88-94.)
- [5] 张佩兰. 厌氧生物除磷及其微生物种群结构特性的研究[D]. 广州:广州大学,2011.
(ZHANG Peilan. Study on anaerobe phosphorus removal and the structure property of microbial community[D]. Guangzhou:Guangzhou University,2011.)
- [6] LI J B,ZHANG G L,ZHANG J,et al. Matrix bound phosphine in sediments of the changjiang estuary and its adjacent shelf areas[J]. Estuarine coastal & shelf science,2010,90(4):206-211.
- [7] LONG T R,CHEN Yao,ZHOU J. Dephosphorization mechanism of prolonged sludge age SBBR treating saline and high-phosphorus wastewater[J]. Journal of central south university of technology,2009(S1):363-367.
- [8] 刘辉. 焦化污水生化处理污泥解体控制技术的研究[D]. 鞍山:辽宁科技大学,2012.
(LIU Hui. Study on the control technology of coking wastewater biochemical treatment sludge disintegration[D]. Anshan:University of Science and Technology Liaoning,2012.)
- [9] 李采芳,曾明,于惠中. 宣化污水厂活性污泥解体原因分析及活性恢复对策[J]. 中国给水排水,2016,32(10):148-150.
(LI Caifang,ZENG Ming,YU Huizhong. Reason analysis of activated sludge disintegration and measures of restoring activity in Xuanhua sewage treatment plant[J]. China water & wastewater,2016,32(10):148-150.)
- [10] 王新华,张捍民,杨凤林,等. 解体好氧颗粒污泥修复[J]. 大连理工大学学报,2010,50(2):183-187.
(Wang Xinhua,ZHANG Hanmin,YANG Fenglin,et al. Remediation of disintegrated aerobic granules[J]. Journal of Dalian university of technology,2010,50(2):183-187.)
- [11] RODGERS M,WU G. Production of poly hydroxyl butyrate by activated sludge performing enhanced biological phosphorus removal[J]. Bioresource technology,2010,101(3):1049-1053.
- [12] FANG F,SHENG G P,YU H Q. A novel integrated approach to the enhanced production of poly hydro butyrate with mixed culture in activated sludge[J]. Industrial and engineering chemistry research,2010,49(16):7478-7483.
- [13] XIA E,ZHOU L,LI P,et al. Progress in the microcosmic study of the filamentous bacterium sludge expansion[J]. Industrial water treatment,2009,29(1):10-12.
- [14] JIN D C,WANG P,BAI Z H,et al. Analysis of bacterial community in bulking sludge using culture-dependent and independent approaches[J]. Journal of environmental sciences,2011(11):1880-1887.
- [15] OU Y J X,SHI Z,ZHONG H,et al. Static aerobic composting of municipal sewage sludge with forced ventilation:using matured compost as bulking conditioner[J]. Journal of central south university,2014(1):303-309.
- [16] 徐丽,魏文涛,马兴冠. 基于UASB反应器的低碳磷酸盐还原菌种源污泥的培养和驯化[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(4):737-743.
(XU Li,WEI Wentao,MA Xingguan. Cultivation and domestication of low-carbon bacteria of phosphate reduction sludge based on UASB reactor[J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science),2016,32(4):737-743.)
- [17] 任南琪,刘娇,王秀蓓. 低温时污泥膨胀对MBR中膜污染的影响[J]. 环境科学,2009,30(1):155-159.
(REN Nanqi,LIU Jiao,WANG Xiuheng. Effect of sludge bulking on membrane fouling of MBR under low temperature[J]. Environmental science,2009,30(1):155-159.)
- [18] 桂丽娟. 污泥丝状菌微膨胀的引发与控制[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
(GUI Lijuan. The start and inhibition of flimited filamentous sludge bulking[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology,2010.)
- [19] 任伯帜,唐艳,李和志. 活性污泥膨胀机理及控制方法研究[J]. 南华大学学报(自然科学版),2010,24(2):103-107.
(REN Bozhi,TANG Yan,LI Hezhi. Progress of studies on the mechanism and control of activated sludge bulking[J]. Journal of university of south China (science and technology),2010,24(2):103-107.)
- [20] 李鹏,周利,赵永柱. 药剂法在控制丝状菌污泥膨胀中的应用[J]. 工业水处理,2008,28(7):4-5.
(LI Peng,ZHOU Li,ZHAO Yongzhu,et al. Application of medical method to the expanding control of filamentous bacterium sludge[J]. Industrial water treatment,2008,28(7):4-5.)