

超声波处理回流剩余污泥对 SBR 工艺的污泥减量效能

沈会山^{1,2} 胡勇有^{1,2*} 王广华^{1,2} 梁树焜^{1,2}
何向明³ 谢义忠³ 李凌云³

(1. 华南理工大学环境科学与工程学院教育部重点实验室, 广州 510006;

2. 华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室, 广州 510640; 3. 南海发展股份有限公司, 南海 528200)

摘要 在 SBR 中试系统中, 采用较高声能密度较短时间的超声波处理剩余污泥后回流至系统连续运行 20 d 的方式进行污泥减量, 通过分析测定系统 MLSS、累计排泥量以及系统出水水质指标, 考察了系统污泥减量效果及污泥回流对系统污水处理效果的影响。结果表明, 对 SBR 系统 2/3 的剩余污泥用声能密度为 1 W/mL 的超声波预处理 6 min 后回流至 SBR 系统。SBR 系统最终需处置的污泥量减少了 45.64%, 获得了理想的污泥减量效果。污泥回流后 SBR 系统对 SS、COD、TN 以及 NH_4^+-N 的去除效果均无明显变化, 仅出水 TP 含量略高于对照的 SBR, 出水水质仍能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 B 标准。

关键词 超声波 SBR 剩余污泥 减量化

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)06-2077-05

Effect of excess sludge reduction in SBR by sludge return after ultrasonic treatment

Shen Huishan^{1,2} Hu Yongyou^{1,2} Wang Guanghua^{1,2} Liang Shukun^{1,2}
He Xiangming³ Xie Yizhong³ Li Lingyun³

(1. The Key Laboratory of Ministry of Education, School of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 3. Nanhai Development Company Limited, Nanhai 528200, China)

Abstract In this study, ultrasonic with high density in short time was used to reduce excess sludge production in SBR pilot scale system for 20 days. By analyzing the MLSS of system, the amount of accumulated excess sludge and the quality of the effluent, the effect of this process on excess sludge production and the effluent quality of system were investigated. The results showed that about 2/3 of residual sludge was returned to SBR system after 6 min of ultrasonic treatment with ultrasonic density of 1 W/mL, the amount of ultimate residual sludge reduced about 45.64%, obtaining an ideal sludge reduction effect. No significant change was observed for the removal efficiency of SS, COD, TN and NH_4^+-N in the effluent when compared with the control reactor, but TP was slightly higher than that of the control reactor, the effluent quality of system can reach the standard B of level one of Urban Sewage Treatment Plant Emission Standards (GB18918-2002).

Key words ultrasonic; sequencing batch reactor; residual sludge; reduction

近年来, 污泥减量技术研究主要集中在强化溶胞技术、解偶联代谢、OSA 工艺、膜生物反应器 (MBR) 处理工艺以及新型多孔微生物载体废水处理技术等几个方面^[1,2]。其中, 强化溶胞技术的主要原理是采用物理、化学等方法来强化细胞的“溶解”, 以实现污泥减量。在经常用到的强化溶胞技术中, 尤以超声波在方便设备安装、简化操作、处理效果显著及环境友好等方面有一定的优势, 因而受

到了广泛关注^[3-5]。

目前, 有关超声波污泥减量的研究主要针对超

基金项目: 广东省科技计划资助项目 (2007A032302001)

收稿日期: 2011-02-27; 修订日期: 2011-06-30

作者简介: 沈会山 (1983~), 男, 硕士研究生, 主要从事水污染控制技术研究。E-mail: shs281588921@126.com

* 通讯联系人, E-mail: ppyyhu@scut.edu.cn

声波作用条件对促进污泥厌氧及好氧消化效果以及超声波对污泥的物理、化学和生物性质的影响方面。Tiehm 等^[6]发现,利用超声波(31 kHz,3.6 kW)处理污泥 64 s 后,污泥上清液中 SCOD 从 630 mg/L 提高到 2 270 mg/L,可以使厌氧消化的停留时间从 22 d 降至 8 d,产气量也有显著提高。闫怡新等^[7]采用频率为 35 kHz、声强为 0.3 W/cm² 的超声波辐照人工配制的生活污水 SBR 中的污泥,结果表明,对反应器内 10% 的污泥进行超声处理 10 min,对污泥活性、有机物和氨氮的去除率提高的效果最为显著,污泥活性可提高 12% 左右,COD 去除率和氨氮去除率可分别提高 5% 和 0.5% 左右。曹秀芹等^[8]研究得出,在声能密度 0.25 W/mL 的超声波处理 30 min 下,污泥上清液的 SCOD 从 133 mg/L 上升至 2 566 mg/L;而在声能密度 0.5 W/mL 的超声波处理 30 min 后,SCOD 从 133 mg/L 上升至 4 532 mg/L。

采用超声波处理剩余污泥回流以实现污泥减量化的报道仅见赵继红、曹秀芹及刘永德等的研究,赵继红等^[9]发现通过改变声能密度和作用时间预处理剩余污泥后回流至 SBR 工艺污水处理系统运行一个周期,在声能密度 1 W/mL、作用时间 15 min 下,系统运行 6 h,可将进水 COD 从 487 mg/L 降至 57 mg/L,MLSS 维持在约 3 000 mg/L,污泥减量约 100%。刘永德等^[10]在声能密度(0.4~0.8 W/mL)下超声波处理(10 s~10 min)全回流运行一个周期,发现系统内污泥沉降性能良好,出水水质较好,污泥减量效果明显。同时,刘永德等^[11]研究得出在声能密度 0.6 W/mL、超声作用时间 5 min、回流比 7:120 的条件下运行一个周期,污泥减量效果可达到 96.24%。曹秀芹等^[12]研究发现在声能密度(0.25~0.50 W/mL)下超声波处理 1~30 min 回流运行一个周期,剩余污泥的产量可以减少 20%~50% 左右。然而,赵继红等^[9]、刘永德等^[10]及曹秀芹等^[11]分别是在较高声能密度、较长作用时间,较低声能密度、较短作用时间以及较低声能密度、较长作用时间下运行一个周期研究超声波对污泥的减量效果,而对于较高声能密度、较短作用时间连续运行多个周期下超声波处理污泥回流系统的污泥减量效果及其对系统的影响却未见有报道。课题组前期小试研究发现,在较高声能密度(1.0~3 W/mL),较短作用时间(6 min)内可取得较好的污泥细胞破碎效果。为此,本研究对中试规模为 2.4 m³/d 的 SBR 系统的剩余污泥进行超声波处理并回流至 SBR 系统中

连续运行 20 d。主要考察较高声能密度(1.0 W/mL)较短作用时间(6 min)下超声波处理的剩余污泥回流系统连续运行多个周期的污泥减量效果及其对系统污水处理效果的影响。以期对超声波污泥减量技术的生产性实验提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验废水

接种污泥取自佛山南海某污水处理厂生化处理池;实验用水为沉砂池的出水。进水水质:COD 100~500 mg/L、TN 20~40 mg/L、TP 2~8 mg/L、TSS 60~450 mg/L、NH₄⁺-N 5~30 mg/L、pH 6.8~7.8。

1.2 实验装置

超声波为宁波新芝公司生产的工作频率为 20 kHz 和 40 kHz 交替进行的 SCIENTZ-IIID 超声波细胞粉碎机,输出功率 0~3 000 W。

实验主体装置为 2 套 1.5 m×1.2 m×0.9 m 的 SBR,有效容积 1 200 L。空气流速 1 800 L/h,DO 保持在 2 mg/L 左右。

2 套 SBR 池同步运行,每日运行 2 个周期,每个周期 8 h,5 个阶段分别为:进水(0.5 h)、曝气(4 h)、沉淀(1.5 h)、排水(0.5 h)、闲置(1.5 h)。

1.3 实验方法

首先对 SBR 系统中的污泥进行驯化,并连续监测出水水质。经过 1 个月的驯化培养后,系统稳定运行,排水比为 4/7,此时 MLSS 维持在 3 000~3 500 mg/L 内后,在闲置阶段排泥同时进行超声污泥回流实验,实验持续近 2 个月。

1[#]SBR 作为对照组,每个运行周期的排泥量为 9 L,含水率约为 98.5%,排放污泥的平均 SS 为 15 g/L。2[#]SBR 在进水同时回流 6 L 经 1 W/mL 的超声波处理 6 min 后的剩余污泥,排放剩余污泥 3 L。在闲置期阶段,用超声波处理 SBR 系统排出的剩余污泥的 2/3,并回流至 SBR 系统。

在 SBR 每日运行的 2 个周期里,分别取每个周期的进出水各 100 mL 混合后,测量进出水的 COD、SS、TP、TN 及 NH₄⁺-N;分别取 2 个周期内反应池曝气 1 h 后的混合水样各 100 mL 测量 MLSS,取平均值。

1.4 分析方法

COD:重铬酸钾法;MLSS:重量法;氨氮:纳氏试剂比色法;TN:过硫酸钾紫外分光光度法;TP:钼酸铵分光光度法^[13]。

2 结果与讨论

2.1 SBR 系统的污泥减量效果

实验期间,系统 MLSS 以及累计排泥量的变化分别如图 1、图 2 所示。

由图 1 可见,经超声波处理的剩余污泥回流至 2[#]SBR 后,MLSS 有一定的波动,在系统运行至第 9 天后,MLSS 超过了 3 500 mg/L,通过集中排泥使系统稳定在约 3 000 mg/L。整个实验期内,1[#]SBR 的 MLSS 平均值维持在 3 244.75 mg/L,2[#] 维持在 3 330.65 mg/L。

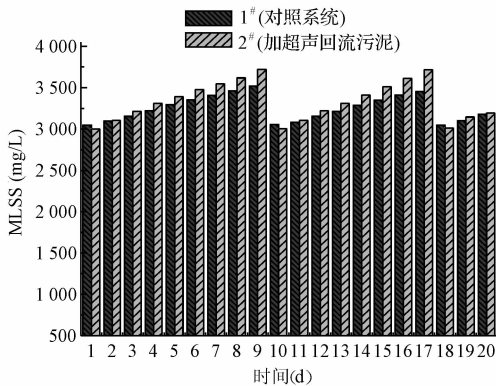


图 1 MLSS 的变化
Fig.1 Change of MLSS

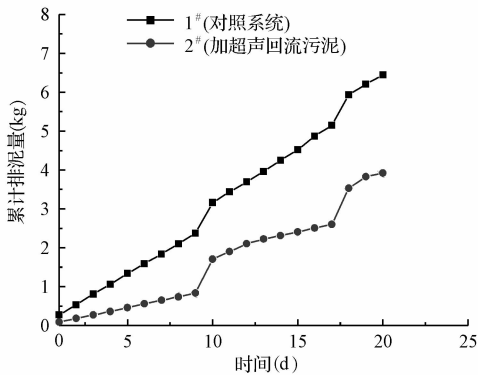


图 2 累计排泥量
Fig.2 Amount of accumulated sludge

由图 2 可见,1[#]SBR 的累计污泥排放量为 6.446 kg,2[#] 为 3.504 kg,与 1[#] 相比,2[#] 的排泥量减少了 2.942 kg,即 SBR 系统 2/3 的剩余污泥经超声波处理 6 min 后回流至 SBR 系统,运行稳定后,系统最终需处置的污泥量减少了 45.64%。这可能是由于污泥细胞经超声波处理后被破碎成小碎片,比表面积

增大^[14],导致细胞碎片与氧接触的机会增加,从而加速了其氧化过程;另外,由于部分胞内释放的 COD 被微生物利用,产生隐性生长,导致表观产率降低,进而使系统污泥的产量减少。

但是由于可能存在细胞粉碎不彻底,虽然经过 6 min 的超声波处理,仍有部分 COD 没有释放出来;而且释放出自产底物(细菌细胞内部的物质)与进水中底物的成分、性质也不同,这些因素都能影响超声处理污泥时的减量效果。

2.2 污泥回流后 SBR 系统的运行情况

2.2.1 SS 的去除效果

实验期间,系统进出水 SS 的变化情况如图 3 所示。由图 3 可见,进水 SS 含量波动较大,最大值为 403 mg/L,最小值为 68 mg/L,SS 的平均值为 188.95 mg/L;2 套 SBR 出水的 SS 含量较低且稳定在 9~25 mg/L 范围内;出水 SS 与进水 SS 的波动并无明显的相关性。1[#] 和 2[#] 的出水 SS 含量相近,最大值分别为 22 mg/L 和 25 mg/L,最小值分别为 9 mg/L 和 10 mg/L,平均值分别为 13.75 mg/L 和 14.65 mg/L。SS 平均去除率分别为 92.72% 和 92.24%,表明,超声波处理后对系统去除 SS 的效果影响不大。

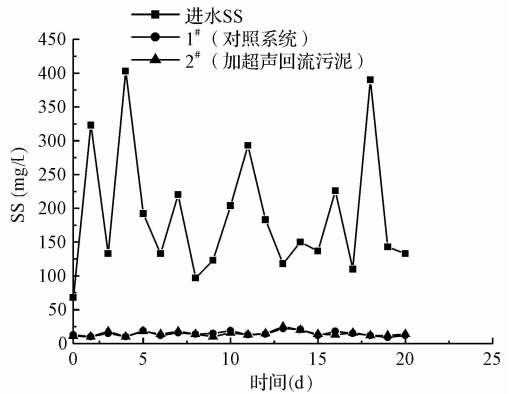


图 3 SS 去除效果对比
Fig.3 Comparison of SS removal

2.2.2 COD 的去除效果

实验期间,2 套 SBR 进出水 COD 含量的变化如图 4 所示。

由图 4 可见,进水 COD 最大值为 392 mg/L,最小值为 141 mg/L,平均值为 227.85 mg/L,1[#]、2[#]SBR 出水的 COD 相近,且波动小,平均值分别为 20.69 mg/L 和 21.55 mg/L,2 个 SBR 对 COD 的去除率相近,分别高达 90.9% 和 90.5%。表明,污泥细胞经超声处理后释放出来的大部分有机物在回流至系统

后被微生物降解掉了,因此对 SBR 系统 COD 去除效果影响不大。

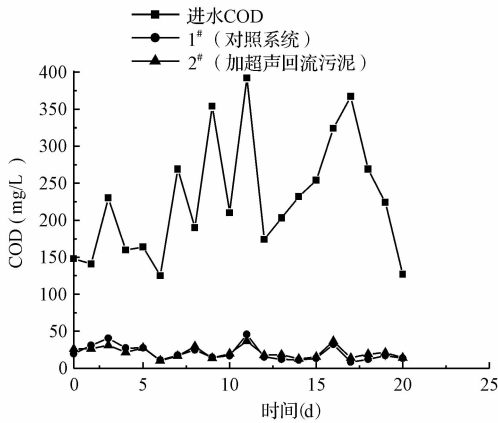


图4 COD去除效果对比

Fig. 4 Comparison of COD removal

2.2.3 TN 的去除效果

实验期间,系统进出水 TN 的变化如图 5 所示。

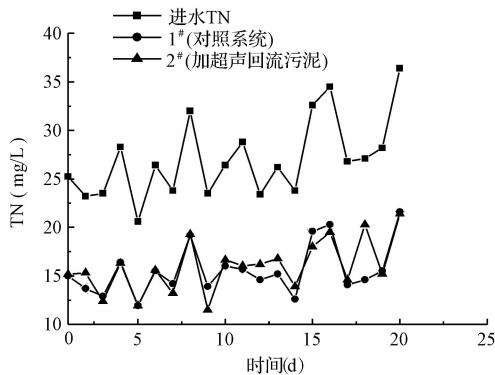


图5 TN去除效果对比

Fig. 5 Comparison of TN removal

由图 5 可见,实验期间系统进水 TN 最大值为 36.4 mg/L,最小值为 23.2 mg/L,平均值为 27.13 mg/L。而系统出水 TN 含量在 12.9 ~ 21.6 mg/L 范围内波动,1# 和 2# SBR 出水 TN 平均值分别为 15.66 mg/L 和 16 mg/L,去除率分别为 42.28% 和 41.02%,TN 去除率差异不大,表明超声处理对 SBR 系统 TN 的去除效果影响不大。

2.2.4 氨氮的去除效果

实验期间,系统进出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的变化如图 6 所示。

由图 6 可知,进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最大值为 28.6 mg/L,最小值为 9.68 mg/L,平均值为 16.861 5 mg/L。两 SBR 出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量虽有所波动,但平均值相近,

分别为 2.048 mg/L 和 2.166 mg/L,去除率分别为 87.85% 和 87.15%。氨氮去除率差异之小,表明超声处理对 SBR 系统 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果影响不大。虽然在超声波的作用下,细胞破碎后,胞内的蛋白质和氨基酸释放出来,通过氨化作用转化为氨氮,但通过硝化作用和超声波获得的自由基氧化作用^[15],绝大部分氨氮被氧化,因而出水氨氮含量较低。

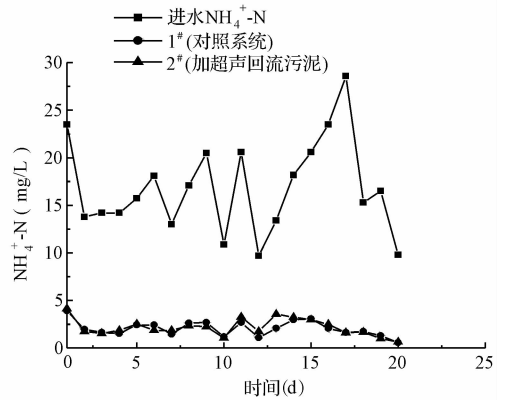


图6 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果对比

Fig. 6 Comparison of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal

2.2.5 TP 的去除效果

实验期间,进出水 TP 的变化如图 7 所示。

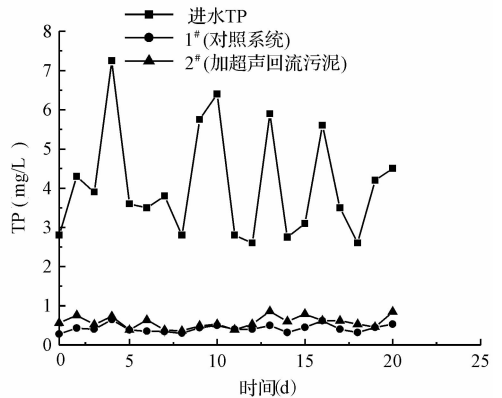


图7 TP去除效果对比

Fig. 7 Comparison of TP removal

由图 7 可见,系统对 TP 的去除情况与 SS、COD、TN 以及 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除情况不同,2# SBR 出水 TP 值普遍高于 1# 出水 TP 值。进水 TP 值为 4.08 mg/L,1#、2# SBR 出水 TP 的平均值分别为 0.42 mg/L 和 0.58 mg/L,去除率分别为 89.7% 和 85.8%,出水平均 TP 2# 高出 1# 0.16 mg/L,去除率降低了 3.9 个百分点。可能是因为剩余污泥经超声波处理后,胞内磷释放并和其他自产底物再次进入 SBR 系统,从

而影响了出水TP。但同时由于在微生物细胞中,磷仅占细胞干重的2%~3%左右^[12],且超声波处理的这部分活性污泥所释放出的磷与进水中的总磷相比数量较小,所以对于系统的磷负荷冲击并不是太大。从出水水质情况分析,经超声波处理后的回流污泥,能被微生物所利用和降解,不会使系统出水水质发生恶化,SBR系统仍能保证正常运行。

3 结论

(1)将SBR系统排出的剩余污泥的2/3经超声波处理6min后回流至SBR系统中,MLSS无明显增加,最终需处置的污泥量减少了45.64%,实现了理想的污泥减量效果。

(2)回流经超声波处理的剩余污泥不会影响SBR系统的正常运行,出水水质仍能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级B标准。与对照系统相比,SS、COD、TN及NH₄⁺-N的去除效果影响不大,仅对TP的去除效果略有下降。

参考文献

- [1] 刘琳,宋碧玉.污泥减量化技术新进展.工业用水与废水, **2005**,36(3):5-9
Liu Lin, Song Biyu. A new process of sludge reduction technology. *Industrial Water & Wastewater*, **2005**,36(3):5-9(in Chinese)
- [2] 付融冰,杨海真,甘明强.中国城市污水厂污泥处理现状及其进展.环境科学与技术, **2004**,27(5):108-110
Fu Rongbing, Yang Haizhen, Gan Mingqiang. The status and progress of disposal of residual sludge in sewage treatment plant. *Environmental Science & Technology*, **2004**,27(5):108-110(in Chinese)
- [3] 张雷,洪瑛,李昭,等.城市污水处理的污泥减量技术.市政技术, **2005**,23(5):314-317
Zhang Lei, Hong Ying, Li Zhao, et al. A technique for decreasing sludge in city sewage treatment. *Municipal Engineering Technology*, **2005**,23(5):314-317(in Chinese)
- [4] Bougrier C. Solubilization of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. *Chemical Engineering Journal*, **2005**,106(2):163-169
- [5] Xin Feng, Hengyi Lei, Jinchuan Deng, et al. Physical and chemical characteristics of waste activated sludge treated ultrasonically. *Chemical Engineering and Processing*, **2009**,48(1):187-194
- [6] Tiehm A., Nickel K., Neis U. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Science and Technology*, **1997**,36(11):121-128
- [7] 闫怡新,刘红.低强度超声波强化污水生物处理中超声辐照周期的优化选择.环境科学, **2006**,27(5):898-902
Yan Yixin, Liu Hong. Optimization of the proportion of irradiated sludge for enhancement of sludge activity in biological treatment of wastewater by low intensity ultrasound. *Environmental Science*, **2006**,27(5):898-902(in Chinese)
- [8] 曹秀芹,陈珺,欧阳利,等.剩余污泥的超声处理实验研究.中国给水排水, **2003**,19(2):58-60
Cao Xiuqin, Chen Jun, Ou Yangli, et al. Study on the excess sludge by ultrasound treatment. *China Water & Wastewater*, **2003**,19(2):58-60(in Chinese)
- [9] 赵继红,刘楠,刘永德.超声对SBR工艺中剩余污泥的减量化研究.环境科学与技术, **2008**,31(2):77-79
Zhao Jihong, Liu Nan, Liu Yongde. Reduction of residual sludge in SBR by ultrasonic treatment. *Environmental Science & Technology*, **2008**,31(2):77-79(in Chinese)
- [10] 刘永德,张明玉,刘峻,等.超声对连续流活性污泥系统污泥减量化研究.环境科技, **2010**,23(1):33-36
Liu Yongde, Zhang Mingyu, Liu Jun, et al. Influence of ultrasonic on reduction of excess sludge in continuous flow activated sludge system. *Environmental Science and Technology*, **2010**,23(1):33-36(in Chinese)
- [11] 刘永德,董燕,赵继红,等.剩余减量化工艺条件优化研究.环境工程学报, **2010**,4(11):2599-2602
Liu Yongde, Dong Yan, Zhan Jihong, et al. Study on optimization of technical conditions of waste sludge reduction. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2010**,4(11):2599-2602(in Chinese)
- [12] 曹秀芹,陈珺,王洪臣,等.超声处理对活性污泥系统污泥减量效果的研究.环境污染治理技术与设备, **2006**,7(6):85-88
Cao Xiuqin, Chen Jun, Wang Hongcheng, et al. Study on the effect of sludge reduction in activated sludge system by ultrasound. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, **2006**,7(6):85-88(in Chinese)
- [13] 国家环境保护局.水和废水监测分析方法(第4版).北京:中国环境科学出版社, **2002**
- [14] Chu C. P., Chang Bea Ven, Liao G. S., et al. Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge. *Wat. Res.*, **2001**,35(4):1038-1046
- [15] 曹秀芹,陈珺,唐臣,等.超声处理后剩余污泥性质变化及分析.环境工程, **2005**,23(5):84-86
Cao Xiuqin, Chen Jun, Tang Cheng, et al. The change and analysis of excess sludge properties after ultrasound treatment. *Environmental Engineering*, **2005**,23(5):84-86(in Chinese)