

文章编号:2095-0411(2016)01-0078-05

臭氧、超声与生物质组合调理污泥脱水性能研究

高 雯¹, 张凤娥¹, 董良飞¹, 张建琴², 秦 焱¹

(1.常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164;
2.江苏城乡建设职业学院 继续教育学院, 江苏 常州 213144)

摘要:以某石化公司污水处理厂的污泥作为研究对象,污泥滤饼含水率、比阻和沉降比作为判别指标,探究臭氧、超声和生物质 3 种方式,单一及组合调理污泥脱水性能的影响。结果表明:超声处理污泥,滤饼含水率在 77.60%~84.28%波动,当超声时间为 150s 时,滤饼含水率最低且比阻值最小,达到 $6.30 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;臭氧氧化处理污泥,滤饼含水率先降后增,污泥比阻的波动趋势与含水率一致,当臭氧投加量为 $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,滤饼含水率达到 77.36%,比阻值达到 $4.53 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;投加适量的生物质能促进污泥脱水性能,当质量比为 1:3.5 时,污泥含水率和比阻值均达到最低,分别为 77.1%和 $5.19 \times 10^9 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;臭氧-超声-生物质组合调理,能大幅提升污泥脱水性能,最佳组合调理参数为:臭氧投加量 $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$,超声时间 60s、生物质投加量 3.0g,此时,污泥滤饼含水率下降到 57.91%,比阻值为 $1.13 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。臭氧、超声和生物质具有较好的协同增效作用,组合联用能有效破坏污泥内部菌体结构,防止污泥团聚,提高污泥脱水性能。

关键词:污泥;超声;臭氧;生物质;调理;脱水

中图分类号:X 5

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2016.01.015

Study on the Sludge Dewatering with Ozone, Ultrasound, Biomass and Their Combination Process

GAO Wen¹, ZHANG Feng'e¹, DONG Liangfei¹, ZHANG Jianqin², QIN Yi¹

(1.School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;
2.School of Continuing Education, Jiangsu Urban and Rural Construction Career Academy, Changzhou 213144, China)

Abstract: Taking the sludge in sewage treatment plant of Petrochemical Corporation as the research target, this essay aims to investigate the impact of a combined conditioning of ozone, ultrasonic and biomass on sludge dewatering performance using moisture content, specific resistance and settlement ratio of sludge as discriminative index. It is implicated by the research that with the time increased for ultrasonic treatment, the moisture ratio of sludge filter cake fluctuates between 77.60%—84.28%, and it reaches to the lowest moisture ratio and lowest specific resistance ($6.30 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) when the time of ultrasonic treatment is around 150 s. With an increase of dosage of ozone, the moisture ratio of sludge filter cake first increases then descends. The fluctuation tendency of specific resistance is in accordance with moisture ratio. The moisture ratio and specific resistance of sludge reach to 77.36% and $4.53 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ respectively when the dosage of ozone is $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$. After adding biomass, the moisture ration and specific resistance drop

收稿日期:2015-06-20。

基金项目:2013 年溧阳市科技计划项目(LB2013001)。

作者简介:高雯(1989—),女,江苏连云港人,硕士生。通讯联系人:张凤娥(1964—),zfenlzh@cczu.edu.cn

to 57.91% and $1.13 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ respectively with the combined conditioning. In sludge moisture ratio leads to a reduction of over 20%. In order to promote sludge dewatering and crack the interior bacterial structure of sludge effectively, the optimal conditioning parameters are: ozone oxidation 10min; ultrasonic treatment 60s; biomass dosage 3.0g.

Key words: sludge; ultrasonic; ozone; biomass; processing; dewatering

随着污水处理行业的快速发展,污泥量大幅度增加。目前,我国干污泥排放量已高达 $30 \times 10^4 \text{ t}$,但每年仍以 10% 增长。污泥处理费用昂贵,占污水处理厂总投资和运行费用的 25%~65%。污泥脱水性能差、滤饼含水率高,是其处理难、费用高的主要原因。以至于许多中小型企业承担不起昂贵的处理费用,选择随意丢弃废弃的方式进行处置,导致废弃污泥侵占大量耕地,影响农业生产,制约经济的发展^[1]。因此,对污泥脱水性能研究具有重大的意义^[2]。

近年来国内外报道的污泥脱水方法很多,其中超声分散和臭氧氧化处理方法较为常见。超声分散能够加快污泥内微生物细菌厌氧消化作用,改善污泥中溶解态和颗粒态物质的特性。臭氧氧化处理,不仅能够破坏微生物细胞壁,使其失活释放出胞内物,同时还能将大分子物质分解为小分子物质降低比阻,从而提高污泥的脱水效果^[3-6]。生物质材料主要为植物残体(秸秆,木屑,玉米棒等),粉碎以后具有大的比表面积和吸水能力,该材料廉价、易得,对环境不会产生二次污染^[7-10]。超声臭氧氧化与生物质组合调理污泥脱水有望是一种全新的调理方式,并未见文献中报道。本文以松木屑为生物质材料,探究 3 种调理方法单一处理和组合处理对污泥含水率、沉降率和比阻的影响,获得最佳组合调理参数,旨在为污泥脱水工艺的发展及改进提供理论指导和技术支持。

1 试验材料与方法

1.1 污泥来源及性质

污泥取自某石化企业污水处理厂,污泥质量浓度(MLSS)为 60g/L,污泥沉降率(SV)≥95%,有机物负荷(VSS)为 60%,pH 为 7~8,悬浮物(SS)为 480mg/L,含水率在 99%以上,滤饼含水率 90.6%,污泥比阻 $R = 2.12 \times 10^9 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.2 实验方法

1.2.1 超声波发生试验方法

取实验污泥 100mL,倒入 250mL 的烧杯中,放

入超声粉碎机(20 kHz, $0.09 \text{ W} \cdot \text{mL}^{-1}$)中处理,测试不同超声时间后污泥滤饼含水率、比阻值和沉降率,探究超声时间对上述指标的影响。

1.2.2 臭氧氧化试验方法

取实验污泥 100mL,倒入 250mL 的烧杯中,保鲜膜密封后,磁力搅拌,搅拌速度为 99.4r/min,搅拌时间通常在 10min 内,然后开启臭氧发生器,向烧杯中通入不同的臭氧量,尾气用 20% KI 溶液吸收,并用碘量法测定烧杯中剩余臭氧量,调理结束后,测试污泥的含水率、比阻值和沉降率,探究臭氧投加量对上述指标的影响。

1.3 污泥指标测定方法

含水率用重量法,沉降率、污泥比阻值测定采用真空过滤法^[2]。

1.4 实验材料与仪器

材料:松木屑;仪器:场发射扫描电镜,电子天平,磁力搅拌器,臭氧发生器,超声发生器。实验所用的超声和臭氧联合装置示意图如图 1 所示。

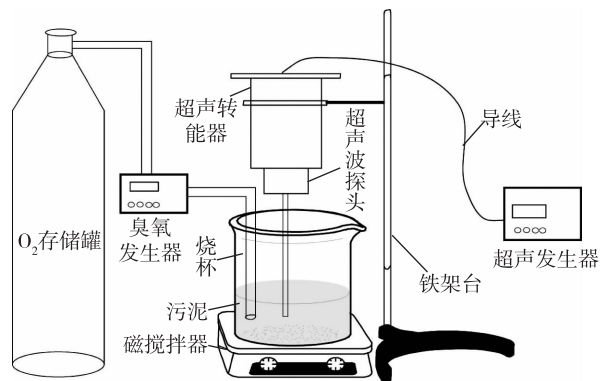


图 1 超声和臭氧联用装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of ultrasonic and ozone combination device

2 结果与讨论

2.1 超声对污泥滤饼含水率、比阻和沉降率的影响

按照超声波发生试验方法调理污泥,探究超声时

间对污泥含水率、比阻和沉降率的影响,见表 1。分析表 1 可知,随着超声处理时间的延长,污泥滤饼含水率在 77.6%~84.3%波动,超声时间在 150s 左右时,滤饼的含水率最低,比阻为 $6.30 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。随着超声时间的增加,污泥比阻增加,其变化趋势较为明显。这是由于超声波可以破坏污泥中微生物的菌胶团结构,产生的海绵效应促进内部结合水转移到污泥絮体的外部成为自由水^[11-14],长时间的超声处理,使得污泥絮体的粒径减小到十几个微米,污泥的比表面积增大,吸附水的活性位点增多,造成污泥的滤饼含水率上升。超声处理时间对污泥沉降率的影响如图 2 所示。可以看出,不同时间的超声处理,污泥的沉降率变化不大,基本上维持在 90%~98%,说明超声波处理对污泥沉降率没有影响。

表 1 超声时间对污泥滤饼含水率和比阻值的影响

Table 1 The influence of ultrasonic time on sludge moisture content and the resistance value

编号	超声时间/s	污泥含水率/%	比阻/($10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
1	30	84.28	7.71
2	60	79.03	6.22
3	90	79.98	6.23
4	120	79.51	7.93
5	150	77.59	0.63
6	180	80.45	1.32
7	210	80.59	1.169
8	240	79.78	6.32

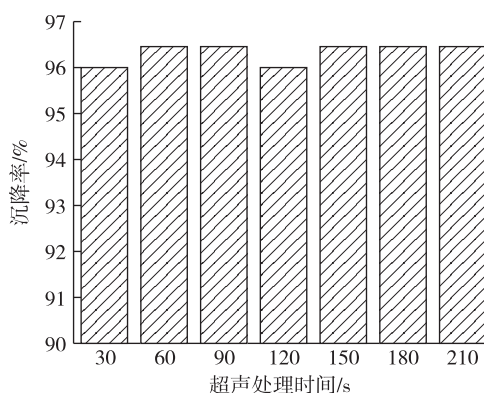


图 2 超声时间对污泥沉降率的影响

Fig.2 The influence of ultrasonic time on sludge setting rate

2.2 臭氧氧化对污泥滤饼含水率、比阻和沉降率的影响

按照臭氧氧化试验方法,探究臭氧投加量对污泥含水率、比阻和沉降率的影响,如图 3 所示。分析图 3 可知,随着臭氧投加量的增加,污泥滤饼含水率在小幅度降低,当增加到 $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时含水率最

低,达到 77.4%,污泥比阻的波动走势与含水率一致,此时比阻值最低为 $4.53 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;研究表明,当臭氧投加过量或较小时,污泥的脱水效果均会较差^[15]。分析原因,主要是由于少量的臭氧通入污泥后,污泥中的多糖、蛋白质等生物聚合物会进入到污泥液相中,引起污泥过滤性能的降低,增加污泥中结合水与间隙水的含量,不利于污泥脱水性能的改善^[16]。而过量的臭氧,会在污泥中逐渐形成大量气泡,导致污泥絮体之间夹杂着气泡,进而在抽滤过程中接触面积减少,阻碍液体的自由流通,污泥的过滤性能受到影响^[17]。实验过程中发现,臭氧的投加量对污泥沉降率有较大的影响,如图 4 所示。分析图 4 可知,随着臭氧投加量的增加,污泥沉降率一直波动,总体呈下降趋势,表明臭氧氧化处理有利于污泥沉降。

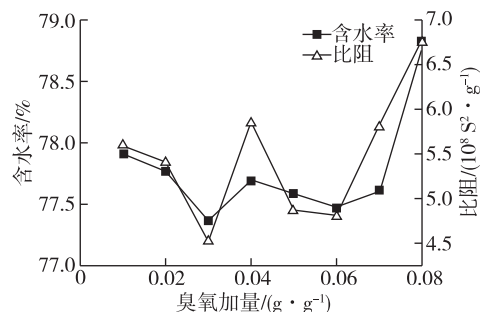


图 3 臭氧投加量对污泥滤饼含水率和比阻值的影响

Fig.3 The influence of ozone oxidation time on sludge moisture content and the resistance value

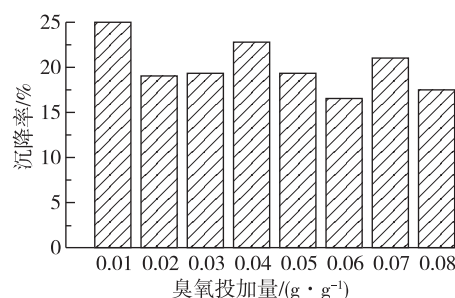


图 4 臭氧投加量对污泥沉降率的影响

Fig.4 The influence of ozone oxidation time on sludge setting rate

2.3 生物质调理含量对污泥滤饼含水率和比阻的影响

生物质材料主要为农作物残体(秸秆,木屑,玉米棒等),粉碎以后具有大的比表面积和吸水能力。本实验选取松木屑为代表性的生物质,将未进行任何调理的原样污泥中掺杂不同质量的松木屑后进行真空过滤脱水试验,考察其对污泥滤饼的含水率和比阻的

影响,结果如图 5 所示。分析图 5 可知,随着松木屑掺杂质量的增大,污泥的含水率在逐渐降低,分析其原因主要是松木屑本身具有一定的吸水性能^[18]。随着松木屑加入量的增多,污泥比阻在不断的减小,当污泥与松木屑的质量比为 1:3.5 时,污泥含水率达到最低值为 77.1%,比阻值最小为 $5.19 \times 10^9 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。实验结果表明:生物质调理污泥具有较好的脱水效果,但要控制好投加量。

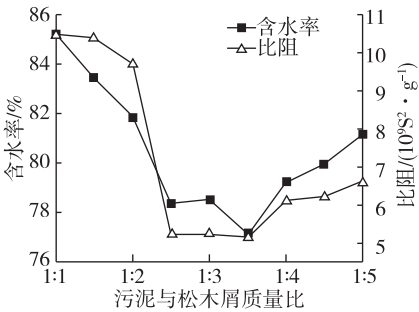


图 5 松木屑含量对污泥滤饼含水率和比阻值的影响
Fig.5 The effect of pine sawdust on water content of sludge and resistance

2.4 两组不同组合调理对污泥滤饼含水率和比阻的影响

按照单一调理得出的优化结果,进行两两组合的调理。臭氧氧化对污泥脱水的影响相对于超声效果好,设计臭氧-超声组合分级调理污泥脱水试验,保持臭氧投加量在 $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 不变,进行不同时间的超声处理,结果见表 2。由表 2 可知,当超声时间仅为 60s 时,污泥含水率最小达到 76.4%,比阻为 $4.12 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,比单独超声效果好;适当的延长超声时间,污泥含水率和比阻又逐渐增大。控制臭氧投加量一定情况下,变动生物质的投加量进行组合。发现由于臭氧调理后直接加入生物质,得到滤饼含水率和比阻值均较高。此外,超声调理后加入不同质量的生物质,滤饼含水率和比阻值均较高,污泥脱水效果较差。因此,对于两者组合调理,臭氧-超声调理效果最好,污泥含水率达到 76.39%,比阻达到 $4.12 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,臭氧-生物质次之,超声-生物质调理效果最差,最佳组合参数为:臭氧投加量为 $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$,超声时间为 60s。

2.5 臭氧-超声-生物质 3 者组合调理对污泥滤饼含水率和比阻的影响

由表 2 试验结果可知,保持臭氧投加量在 $0.03 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和超声处理 60s 不变,通过加入不同质

量的松木屑调理污泥,设计臭氧-超声-生物质 3 者组合分级调理污泥脱水试验,具体结果见表 3。分析表 3 可知,当松木屑加入量为 3g 时,污泥含水率和比阻值均达到最低,其值分别为 57.9%和 $1.13 \times 10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;少量和过量加入松木屑脱水效果都不好,少量生物质加入时,吸水效果不佳;大量加入时,导致污泥内部絮体团聚加剧,脱水效果也不好。综合 2.1、2.2 和表 2 试验结果,表明超声波与臭氧组合调理污泥脱水,效果优于单一处理;超声波臭氧与生物质组合调理污泥脱水,效果又优越于超声与臭氧组合调理。

表 2 两种不同组合调理联用对污泥滤饼含水率和比阻的影响

Table 2 Combination control of combination effects on sludge moisture content and specific resistance

编号	臭氧投加量/ ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	超声/ s	生物质/ g	污泥含水 率/%	比阻/ ($10^9 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
1	0.03	30	—	78.41	1.35
2	0.03	60	—	76.39	0.41
3	0.03	90	—	78.28	0.86
4	0.03	120	—	78.68	0.64
5	0.03	150	—	78.59	0.54
6	0.03	—	1:3	78.35	0.52
7	0.03	—	1:3.5	78.91	0.64
8	0.03	—	1:4	78.52	0.53
9	0.03	—	1:4.5	78.64	0.74
10	0.03	—	1:5	78.77	0.64
11	—	150	1:3	79.21	8.46
12	—	150	1:3.5	79.33	8.63
13	—	150	1:4	79.41	9.56
14	—	150	1:4.5	79.55	8.73
15	—	150	1:5	79.63	9.29

表 3 3 种不同组合调理联用对污泥滤饼含水率和比阻的影响

Table 3 Combined with the moisture content of the sludge and the specific resistance of the effects of three different combinations of conditioning

编 号	臭氧投加量/ ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	超声/ s	松木屑加 入量/g	污泥含水 率/%	比阻/ ($10^8 \text{ S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
1	0.03	60	1.0	69.42	9.67
2	0.03	60	1.5	66.48	2.03
3	0.03	60	2.0	63.92	1.52
4	0.03	60	2.5	62.61	1.71
5	0.03	60	3.0	57.91	1.13
6	0.03	60	3.5	58.18	1.58
7	0.03	60	4.0	69.42	9.67

2.6 污泥调理前后外部与微观结构形貌

通过照相机和场发射扫描电镜分别记录下单一、组合调理前后污泥的宏观与微观形态结构,结果如图6所示。由图6可知,生物质调理后污泥黑色变淡,臭氧-超声组合调理污泥变为棕色,色度变浅,臭氧-超声-生物质组合调理污泥依然变为棕色,与臭氧-超声组合调理相比,色度更浅。从调理以后污泥的微观结构可知,超声调理后污泥内部絮体分散,大颗粒变小,吸光性增强;臭氧调理后污泥内部的细菌微生物被杀死,多糖蛋白质类有机物流出,在抽滤脱水过程中,更易脱水;生物调理主要是由于生物质本身的吸水性,导致污泥内部絮体团聚;组合调理使得污泥内部有机物流出和絮体团聚协同作用,脱水性能更好。调理前后污泥的脱水效果,臭氧-超声-生物质组合调理污泥的效果最好。可见,三者组合调理使得污泥内部有机物流出和絮体团聚协同作用,脱水性能最好。

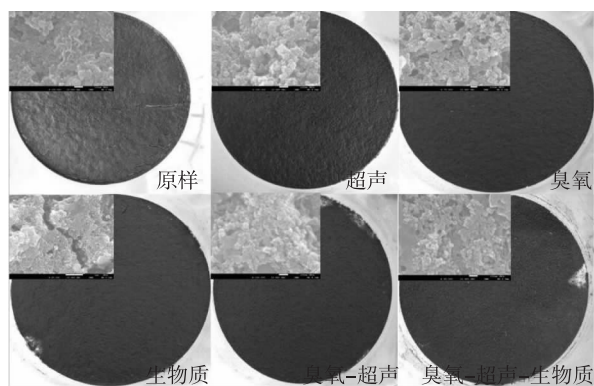


图6 不同调理后污泥的外部与微观结构形貌

Fig.6 Different conditioning of the external morphology and micro structure

3 结 论

1) 超声处理污泥脱水,滤饼含水率在 77.6%~84.3%波动,当处理时间为 150 s 左右时,滤饼的含水率与比阻值均达到最低,对污泥的沉降影响甚微。当臭氧投加量为 $0.03\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,滤饼含水率 77.4%,比阻达到最低值 $4.53 \times 10^8 \text{S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,对污泥沉降影响显著,有利于污泥快速沉降。

2) 生物质本身具有吸水性且能够吸附少量的微生物细菌,破坏污泥内部菌胶团结构,能够提升污泥的脱水性能。

3) 臭氧-超声波组合调理污泥脱水,效果优于单一调理,臭氧-超声波-生物质组合调理污泥脱水,效果最优。最佳的组合调理参数为:臭氧投加量 0.03g

$\cdot \text{g}^{-1}$,超声时间 60s,生物质投加量 3.0g ,此时,污泥含水率达到 57.9%,比阻为 $1.13 \times 10^8 \text{S}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] 吕凯,季文芳,韩萍芳,等. 超声、臭氧处理石化污水厂剩余活性污泥研究[J]. 环境工程学报, 2009, 5(3): 907-908.
- [2] 曹雨平,朱维廷,邓阳清. 污泥脱水性能改善与脱水工艺优化[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(20): 10866-10867.
- [3] 孙玉琦,罗阳春. 超声波对污泥脱水性能的影响及机理探讨[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(28): 17369-17371.
- [4] CHU C P, LEE D J, CHANG B V, et al. Weak ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids [J]. Water Research, 2002, 36(11): 2681-2688.
- [5] 何楚茵,金辉,卜淳炜,等. 臭氧处理剩余污泥的减量化实验研究[J]. 环境工程学报, 2012, 6(11): 4228-4234.
- [6] 李定龙,赵宋敏,戴肖云,等. 接种比例对厨余垃圾和活性污泥联合厌氧发酵的影响[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2011, 23(1): 32-34.
- [7] 蒋建国,杜雪娟,杨世辉. 城市污水污泥成型的研究[J]. 中国环境科学, 2008, 28(10): 904-909.
- [8] 张长飞,葛仕福,赵培涛,等. 污泥合成燃料的研制及燃烧特性研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(1): 130-135.
- [9] 张长飞,葛仕福,赵培涛,等. 污泥燃料化技术研究[J]. 环境工程(增刊), 2010, 28(1): 377-380.
- [10] 曹晓哲,刘建忠,赵卫东. 煤泥水煤浆燃烧特性的热重研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(10): 1394-1398.
- [11] 李定龙,张志祥,申晶晶,等. 超声波联合无机混凝剂对污泥脱水性能的影响[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7): 20-22.
- [12] 胡东东,俞志敏,易允燕. 污泥调理技术发展与研究[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(18): 90-92.
- [13] 朱书卉,许红林,韩萍芳. 超声波-复合絮凝剂对石化厂剩余污泥脱水的研究[J]. 工业水处理, 2007, 27(4): 31-34.
- [14] 刘红,闫怡新,王文燕,等. 低强度超声波改善污泥活性[J]. 环境科学, 2005, 26(4): 124-128.
- [15] 万金保,吴声东,王嵘,等. 臭氧对活性污泥现状的影响[J]. 环境化学, 2009, 28(3): 233-237.
- [16] 徐军,刘伟京,涂勇. 臭氧氧化对化工污水处理厂剩余污泥性状的影响[J]. 污染防治技术, 2013, 26(4): 35-39.
- [17] 史锦芳,金辉,游思琴,等. 臭氧对剩余污泥的破解效果研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2014, 53(2): 83-87.
- [18] 孙振均. 中国生物质产业及发展取向[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 1-5.

(责任编辑:李艳)