

## 厌氧处理结合超声空化高效破解剩余污泥

李现瑾, 苑春莉, 余宏, 朱彤  
(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:** 为了提高超声空化破解剩余污泥的效率,进而提高污泥的可生化性能,提出先进行短时间的厌氧处理,再进行超声空化的破解方案;并对厌氧0~6 d的污泥进行了超声破解实验研究.实验结果显示:随着厌氧时间的增加,污泥自身性质发生较大改变,如化学需氧量(COD)、肽聚糖浓度大幅度增加,pH值明显降低等;对厌氧污泥进行破解,其破解效果优于新鲜污泥;对厌氧6 d的污泥进行破解,其COD浓度是新鲜污泥的99.3倍,是新鲜污泥破解后的9.5倍.厌氧处理可以降低污泥的破解难度,在较大程度上提高超声空化强度,该工艺可以实现高效破解剩余污泥的目的.

**关键词:** 厌氧处理;超声空化;剩余污泥;污泥破解;预处理

中图分类号: X 705 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2015)06-0868-05

## Disintegrating Efficiently of Excess Sludge by Combined Anaerobic Treatment and Ultrasonic Cavitation

LI Xian-jin, YUAN Chun-li, YU Hong, ZHU Tong

(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China.  
Corresponding author: ZHU Tong, E-mail: tongzhu@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** In order to improve the efficiency of disintegrating excess sludge and then to improve the performance of sludge biodegradability by using ultrasonic cavitation, a program of disintegrating excess sludge by ultrasonic cavitation after a short anaerobic treatment was proposed. In the experiment, excess sludge was treated 0~6 days by anaerobic digestion and then disintegrated by ultrasonic cavitation. The results show as follows: with increasing of anaerobic digestion time, the properties of sludge change greatly, for example, the concentration of chemical oxygen demand (COD) and peptidoglycan can increase significantly, while the pH value drop observably. The efficiency of using ultrasonic cavitation method to disintegrate excess sludge after a process of anaerobic digestion is better than disintegrating excess sludge directly. For example, the result of disintegrating the excess sludge treated 6 days by anaerobic digestion shows that the concentration of COD is 99.3 times of the sludge without disintegrating, and 9.5 times of excess sludge without anaerobic digestion. This study considers that anaerobic digestion can reduce the difficulty of sludge disintegrating and the process of anaerobic digestion can significantly improve the intensity of ultrasonic cavitation to a large extent. Therefore, the process can achieve the aim of disintegrating the excess sludge efficiently.

**Key words:** anaerobic treatment; ultrasonic cavitation; excess sludge; sludge disintegrating; pretreatment

剩余污泥含有大量的有机物,可以作为人类的资源,但由于污泥中的有机质多存在于细菌及胞外聚合物内,导致污泥资源回收过程时间长、效

率低、成本高.如果将剩余污泥中的有机质从细菌及胞外聚合物中释放出来,则可以解决以上问题<sup>[1-3]</sup>.因此,污泥破解成为了剩余污泥资源化工

收稿日期: 2014-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51178089); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N140306001); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130042110009).

作者简介: 李现瑾(1987-),男,山东菏泽人,东北大学博士研究生; 朱彤(1963-),男,陕西白水人,东北大学教授,博士生导师.

艺的重要预处理过程。

超声处理是污泥破解的一种有效手段,其空化作用产生巨大的水力剪切力可以使絮体结构分散,细菌细胞破坏,胞内物质释放,高分子物质分解为小分子物质等,使污泥的可降解性得到提高<sup>[4-7]</sup>。厌氧处理可以有效杀死活性污泥中的细菌,改变污泥的性质,降低污泥的破解难度,而且短暂的厌氧处理会产生少量的甲烷、CO<sub>2</sub>、醇类及有机酸等,促进超声空化作用的效能<sup>[8]</sup>。因此,本研究提出先进行短时间的厌氧处理、再进行超声空化的破解方案。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验材料与设备

本研究采用含固率为 11 g/L,初始中位粒径为 147.9 μm,pH 为 7.67 的实验室驯养污泥。

超声设备采用南京舜玛仪器设备有限公司生产的工作频率为 20 kHz,功率为 600 W(功率可调)的 GM-1200D 型超声波细胞破碎仪;粒径分析采用丹东百特科技有限公司生产的 Bettersize-2000 激光粒度分析仪;pH 测定采用上海仪电科学仪器股份有限公司生产的 PHS-3C 酸度计。

### 1.2 实验方法

1)取驯养的新鲜污泥放入 5 L 塑料桶密封,室温下厌氧处理。

2)按流程图 1,取少许污泥检测粒径、pH;将 500 mL 污泥放入 1 000 mL 的烧杯中,超声破解 10 min<sup>[6]</sup>,对破解后的污泥检测粒径,并采用 4 000 rad/min 离心 10 min,取上清液,检测 COD、肽聚糖、核酸。

3)按流程图 2,分别取厌氧 0 d 与 6 d(较长的厌氧时间增加了污泥预处理的时间成本,故采用较短的厌氧处理)的污泥 500 mL 放入 1 000 mL 烧杯中,超声破解 0,3,7,10,15 min,对破解后的污泥检测粒径,并采用 4 000 rad/min 离心 10 min,取上清液,检测 COD、肽聚糖、核酸。

### 1.3 分析项目及方法

化学需氧量(COD)表征水体受还原性污染物(主要是有机污染物)的污染状况,采用重铬酸钾法测定。肽聚糖是细菌细胞壁上起主要生理功能的多层网状大分子结构,通过肽聚糖浓度变化可以判断污泥中细菌细胞壁的破坏情况,采用 D-葡萄糖胺法<sup>[9]</sup>测定。核酸是生命的最基本物质之一,通过核酸的浓度变化,可以判断细菌破坏的程度及胞内物质溶出情况,采用分光光度计法测

定。污泥破解的过程伴随着粒径的减小,通过检测污泥粒径的变化,评价污泥的破解效果。厌氧处理会引起污泥 pH 的变化,而 pH 会对污泥破解造成影响<sup>[10]</sup>,采用酸度计法检测。

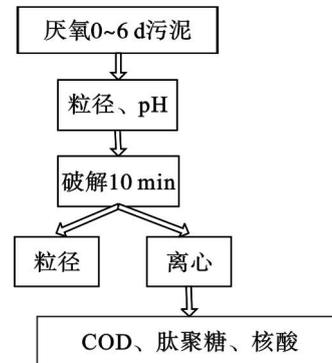


图 1 流程图 1

Fig. 1 Flow chart 1

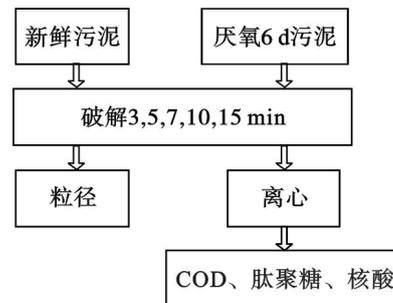


图 2 流程图 2

Fig. 2 Flow chart 2

## 2 结果与讨论

### 2.1 COD 浓度变化情况分析

由图 3a 可知,随着厌氧时间的增加,COD 浓度迅速增加,在厌氧第 3 d 和第 6 d 时,增加量尤其显著。对新鲜污泥破解 10 min,COD 浓度从 212 mg/L 增加到 2 212 mg/L,增加了 2.000 g/L。厌氧 3 d 的污泥,其 COD 浓度增加到 3 012 mg/L,是新鲜污泥破解后的 1.4 倍。从此方面分析,对新鲜污泥的破解意义不大;但是新鲜污泥进行破解,可以加速污泥的厌氧作用<sup>[4]</sup>。厌氧 6 d 的污泥,其 COD 浓度增加到 9 187 mg/L,是新鲜污泥的 43.3 倍,是新鲜污泥破解后的 4.2 倍;对厌氧 6 d 的污泥破解,其 COD 浓度为 21 062 mg/L,是新鲜污泥的 99.3 倍,是新鲜污泥破解后的 9.5 倍。由此可见,对新鲜污泥进行短时间厌氧,可以极大地增加 COD 浓度;对短时间厌氧的污泥进行破解,其效果远好于对新鲜污泥的破解。因此,厌氧结合超声空化破解剩余污泥方案具有高效性。

由图 3b 可知,随破解时间的增加,COD 浓度不断提高.对于厌氧 0 d 的污泥,随着破解时间的增加,其 COD 浓度增加较慢;经 15 min 破解,从 212 mg/L 提高到 5 112 mg/L,提高了 4 900 mg/L.对于厌氧 6 d 的污泥,随着破解时间的增加,其 COD 浓度增加较快;经 15 min 破解,从 9 187 mg/L 提高到 24 437 mg/L,提高了 15 250 mg/L.由此可以看出,对厌氧后的污泥进行破解比对新鲜污泥进行破解具有高效性.

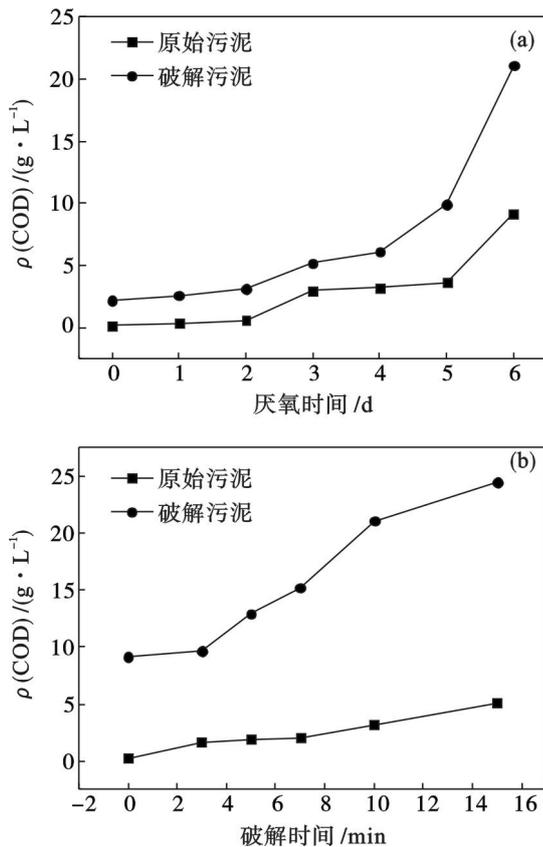


图 3 污泥的 COD 浓度变化

Fig. 3 The concentration variation of COD in sludge  
(a)—厌氧; (b)—破解.

## 2.2 肽聚糖浓度变化情况分析

由图 4a 可知,随着厌氧时间的增加,污泥中肽聚糖的浓度逐渐增加.在厌氧最初的 2 d,由于污泥中含有一定的氧气,污泥中的好氧细菌仍然处于活跃状态;随着污泥中氧气量的逐渐减少,大量好氧细菌相继失活,厌氧细菌的活动开始显著,细菌及胞外聚合物开始被分解,污泥中的肽聚糖的浓度开始增加.对新鲜污泥破解 10 min,其肽聚糖浓度增加到 454 mg/L;随着厌氧时间的增加,破解后肽聚糖的浓度不断增加;对厌氧 5 d 的污泥破解,肽聚糖的浓度增加显著;厌氧 6 d 时,肽聚糖浓度略有下降,肽聚糖可能被水解成小分子有机物质.

由图 4b 可知,随破解时间的增加,肽聚糖浓度都有所增加.对厌氧 0 d 污泥进行破解,随破解时间的增加,肽聚糖浓度增加较慢,经过 15 min 破解,增加至 320 mg/L.厌氧 6 d 后,肽聚糖浓度为 214 mg/L,与厌氧 0 d 污泥破解 10 min 时相近;破解 5 min 后,增加到 431 mg/L,是厌氧 0 d 污泥破解 15 min 时的 1.3 倍;破解 15 min 后,增加到 759 mg/L,是厌氧 0 d 时污泥破解 15 min 的 2.4 倍.由此分析,厌氧后的污泥破解难度降低;厌氧结合超声空化破解剩余污泥方案,具有显著高效性.

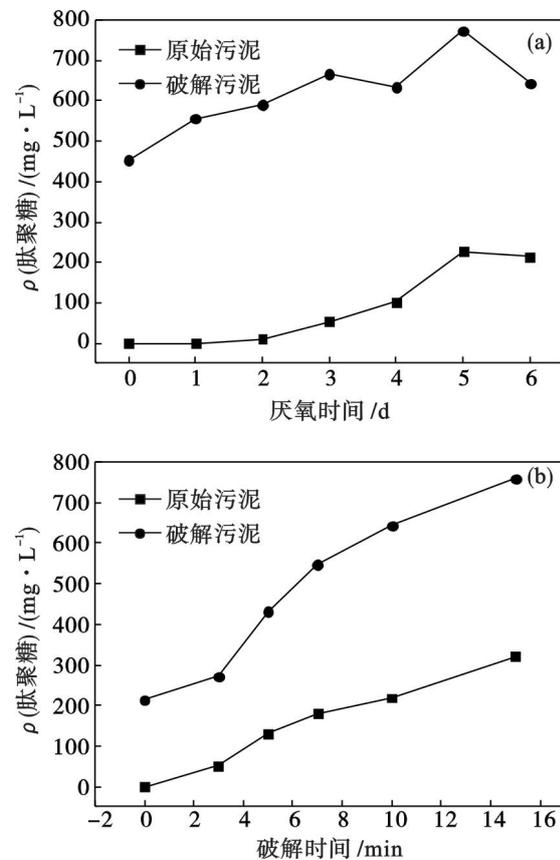


图 4 污泥的肽聚糖浓度变化

Fig. 4 The concentration variation of peptidoglycan in sludge  
(a)—厌氧; (b)—破解.

## 2.3 核酸浓度变化情况分析

由图 5a 可知,随污泥厌氧时间的增加,核酸溶出变化不明显,当厌氧 5 d 时,核酸的浓度一直在 25 mg/L 以下,至厌氧 6 d 时,才达到 36.5 mg/L,即污泥不经过破解,核酸等物质很难从细菌细胞内溶出.对新鲜污泥进行破解,污泥中核酸的浓度增加到 212.2 mg/L,随着厌氧时间的增加,破解后维持在 212.2 ~ 250.0 mg/L 之间.由图 5b 可知,随破解时间的增加,厌氧 0 d 污泥和厌氧 6 d 污泥,其破解后核酸浓度的变化趋势一

致. 由此可以认为, 厌氧处理较少影响核酸的溶出, 而破解时间对核酸溶出的影响较显著.

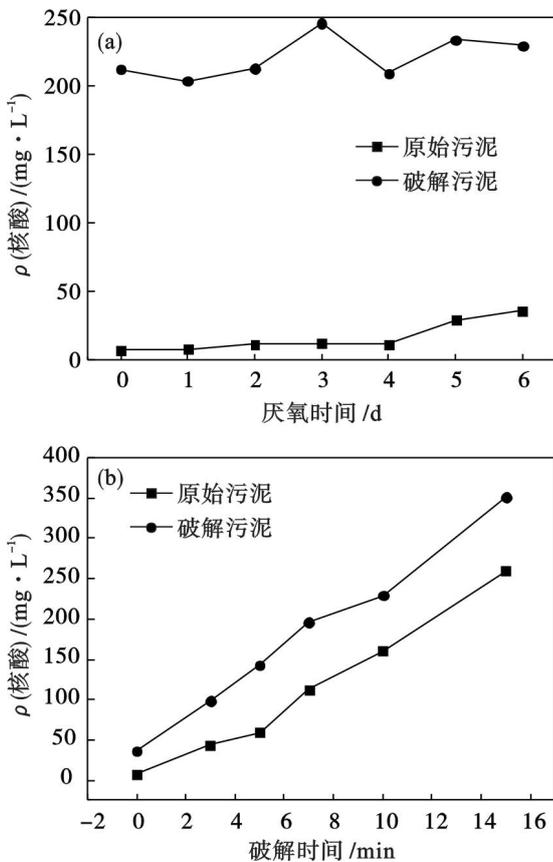


图 5 污泥的核酸浓度变化

Fig. 5 The concentration variation of nucleic acid in sludge

(a)—厌氧; (b)—破解.

### 2.4 中位粒径变化情况分析

检测污泥粒径发现, 厌氧并没有造成污泥粒径的减小, 由此说明, 厌氧仅仅对污泥起到腐蚀作用, 并没有对细菌及菌胶团的外部形态结构造成较大的破坏. 由图 6 可知, 对厌氧 0~6 d 破解后的污泥中位粒径的研究发现, 随着厌氧时间的增加, 中位粒径逐渐减小, 说明厌氧没有对污泥粒径造成实质性的破坏, 但是厌氧可以降低污泥的破解难度, 与郑蕾等<sup>[10]</sup>研究污泥经过腐蚀后胞外聚合物含量下降, 活性污泥中微生物细胞易于破碎结论一致.

### 2.5 pH 变化情况分析

由图 7 可知, 随着厌氧时间的增加, 污泥 pH 逐渐减小. 这种现象是由厌氧产生一定量的有机酸和少量 CO<sub>2</sub> 气体 (CO<sub>2</sub> 气体溶于污泥中形成弱酸) 两个因素共同造成的. 郑蕾等<sup>[10]</sup>研究表明, pH 可改变活性污泥胞外聚合物组分、浓度以及其中基团组成, 从而改变胞外聚合物表面特性, 最终导致污泥状态改变, 且酸性条件使活性污泥中微

生物细胞更易于破碎. 同时污泥中一定量的气体可以促进超声空化的进行, 加强超声对污泥的破解能力<sup>[8]</sup>, 因此, 厌氧结合超声空化方案可以高效破解剩余污泥.

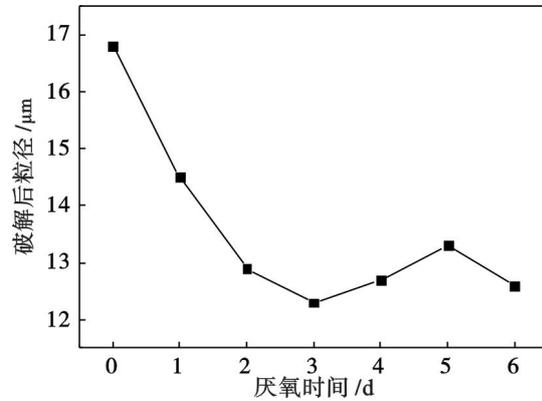


图 6 破解后污泥的中位粒径变化

Fig. 6 The media particle size variation of sludge disintegrated

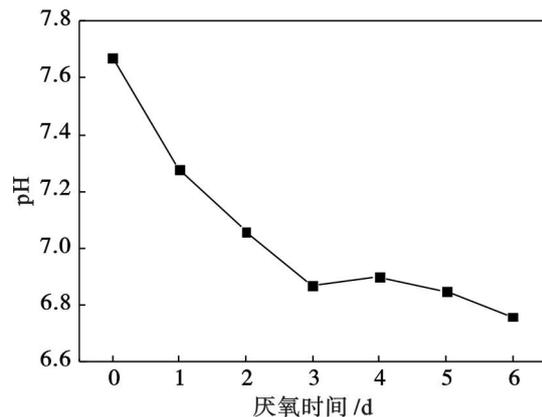


图 7 厌氧污泥的 pH 的变化情况

Fig. 7 pH value variation in sludge treated by anaerobic digestion

## 3 结 论

本研究提出了先进行短时间的厌氧处理、再进行超声空化的污泥破解的方案, 该方案利用厌氧处理降低污泥的破解难度和厌氧处理产物促进超声空化效能等两个方面作用, 提高超声空化破解剩余污泥的效率. 对厌氧污泥进行破解, 其破解效果高于新鲜污泥: 对厌氧 6 d 的污泥进行破解, 其 COD 浓度是新鲜污泥的 99.3 倍, 是新鲜污泥破解后的 9.5 倍. 该方案结合了厌氧处理与超声空化优势, 实现了高效破解剩余污泥, 降低了污泥破解能耗, 提高了污泥破解效率, 并将一定程度上提高污泥资源回收率.

(下转第 891 页)