

超声波对污泥脱水的影响研究

申晓娟¹, 邱珊¹, 李光明¹, 朱英实¹, 马放^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 污泥脱水后体积将减小, 为后续处理节省了空间和成本。超声波作为一种高级氧化技术, 在污泥脱水方面具有重要作用。利用超声处理二沉池污泥, 并通过含水率和上清液中 COD、总氮、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等指标分析对污泥的脱水效果。结果表明, 在超声功率为 240 W、超声时间为 40 min 条件下, 污泥含水率从 91.79% 下降到 82.13%, 大大提高了污泥的脱水性能; 同时发现超声波主要通过空化效应作用于污泥进行脱水。

关键词: 超声波; 二沉池污泥; 脱水; 空化效应

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)03-0122-04

Study of Ultrasonic Wave Impact on Sludge Dewatering

SHEN Xiao-juan¹, QIU Shan¹, LI Guang-ming¹, ZHU Ying-shi¹, MA Fang^{1,2}

(1. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin 150090, China)

Abstract: The dewatering of sludge can reduce volume and space for subsequent processing as well as save cost. Ultrasonic wave, as an advanced oxidation technology, has a wide range of application in sludge dewatering. This experiment utilized ultrasonic wave to treat the secondary settling tank sludge and studied the effect on the moisture content and the concentrations of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN in the supernatant. The results showed that the sludge moisture content reduced from 91.79% to 82.13%, after applying ultrasonic wave power of 240 W for 40 minutes. It was revealed that the dominant mechanism was the cavitation effect in the ultrasonic sludge dehydration.

Key words: ultrasonic wave; secondary settling tank sludge; dewatering; cavitation effect

《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)要求出厂污泥含水率 $\leq 80\%$, 随着城市化进程的发展, 国家“十二五”规划要求污泥含水率 $\leq 60\%$ 方可出厂。污泥中的水一般分为四类: 自由水, 不受固相颗粒的影响, 经沉淀很容易去除; 间隙水, 经过强烈的机械力可以去除; 表面水, 通过吸附和黏附存在于固相颗粒的表面; 结合水, 吸附或结

合在絮体内, 主要依靠氢键与蛋白质的极性结合的水分。其中, 结合水是限制污泥脱水的主要因素^[1,2]。

为了降低污泥的含水率, 国内外已进行了很多新技术的研究, 包括微波辐射、热水解、超声波以及新型絮凝剂的开发等。其中, 超声波属于一种清洁、无二次污染的高级氧化技术。污泥中大量的水分在

基金项目: 民口科技重大专项(NQQQ2111301512)

通信作者: 邱珊 E-mail: qiushan@hit.edu.cn

超声波的作用下会产生大量的空化气泡,并迅速破灭产生强大的水合剪切力和瞬间的高温。另外,超声波能破碎污泥絮体和微生物细胞的结构,使污泥絮体的间隙水和表面水释放为自由水,以便于去除^[3]。经超声波作用的污泥,胞外聚合物破解,COD、氨氮、总氮等物质释放到水中,增加了上述物质在水中的浓度,因此可将其回流至生化池,为微生物提供碳源与氮源。

1 材料与方法

1.1 污泥来源及基本性质

试验污泥来自哈尔滨市某污水处理厂,样品取回后静置,待其稳定后去掉上清液。测定的污泥性质如下:pH 值为 6.9~7.2,MLSS 为 3 500~5 000 mg/L,含水率在 98% 以上。

1.2 仪器与设备

FS-600N 超声波处理器,紫外-可见分光光度计,离心机,磁力搅拌器,PHS-3C 型精密酸度计。

1.3 试验方法

取 300 mL 污泥样品置于烧杯中,移至超声波发生器内,将超声探头浸没于污泥液面下 10 mm 处,设定超声频率为 20 kHz,打开超声处理器进行反应。超声 60 min,取样时间分别为 0、10、20、30、40、50、60 min。然后在 8 000 r/min 转速下离心 10 min,测定上清液中 COD、 NH_4^+ -N、总氮等指标。

采用重量法测定污泥的含水率,采用重铬酸钾法测定污泥上清液中的 COD,采用纳氏试剂光度法测定 NH_4^+ -N,采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定总氮。

2 结果与讨论

2.1 超声时间的影响

2.1.1 超声时间对含水率的影响

试验过程中,超声功率为 240 W。结果表明,随着时间的增加,污泥含水率从 91.79% 一直下降,0~40 min 呈直线下降趋势,40 min 时含水率为 82.13%。继续超声,含水率下降的趋势逐渐减小,在 60 min 时,含水率降为 81.31%。这是由于超声波作用在污泥中,空化效应产生的空化气泡具有强烈的剪切作用,瞬间将污泥的菌胶团和 EPS 破坏,导致污泥的结构被破坏,内部结合水被释放成为较易去除的自由水,从而增强污泥的脱水性能。若超声时间过长,大量的胞内聚合物会释放出来,导致污泥黏度增加,粒径减小,不利于脱水。

2.1.2 超声时间对 COD 的影响

污泥溶解性的变化可以通过上清液中有机物含量的变化来直接体现。在超声功率为 240 W、超声频率为 20 kHz 条件下,测定了上清液中 COD 浓度。结果表明,随着时间的增加,COD 从开始的 72.8 mg/L 增加到 1 152 mg/L,且 30~40 min 增长速度最快,超过 40 min 后,增长速度变得缓慢。分析原因,在超声处理污泥过程中,产生的空化效应使污泥结构被破坏,污泥中微生物的胞外聚合物、细胞壁结构以及有机物残体等得以释放,COD 从固相向液相转移,致使上清液中的 COD 浓度增加,为污泥的后续处理减轻了负担^[4]。若处理时间过长,超声产生的空化作用将破坏污泥颗粒,使污泥中的有机物转移困难,所以增长缓慢。

2.1.3 超声时间对 NH_4^+ -N 和总氮的影响

在超声功率为 240 W、超声频率为 20 kHz 条件下,测定 NH_4^+ -N 和总氮浓度。结果表明,0~10 min 时, NH_4^+ -N 浓度从 7.54 mg/L 增加到 10.08 mg/L,增长速度较慢;10~40 min 时, NH_4^+ -N 浓度呈直线增长,达到了 36.9 mg/L;40~60 min 时, NH_4^+ -N 增长速度缓慢。对于总氮,0~20 min 时其浓度呈直线增长趋势,从 9.25 mg/L 增加到 26.68 mg/L;20~30 min 时,增长速度较快,达到 45.9 mg/L;30~60 min 时,增长速度平缓,最终达到 58.41 mg/L。分析原因,超声波启动后,大量微气泡突然急剧破裂,并且在气泡周围的液体中产生强大的水合剪切力,从而导致高分子有机物、胞外聚合物和细胞壁破碎。而胞外聚合物和细胞壁的破碎增加了营养物质的数量。但是随着时间的延长,空化效应过大,有机物分子被破碎为更细小的污泥颗粒,即增大了比表面积,使吸附性能增强,从而使营养物质的释放受到阻碍,因此出现了上述现象。

2.2 超声功率的影响

2.2.1 超声功率对含水率的影响

功率在超声波处理污泥过程中起到了非常重要的作用,功率越大,反应所得到的能量越多,污泥的絮凝性以及空化程度随之增加,有助于反应的进行。图 1 为超声功率对污泥含水率的影响。可知,随着超声时间的延长,含水率均降低;当超声功率从 120 W 增加到 240 W 时,含水率依次减小。但是达到 300 W 时,随着时间的延长,含水率反而高于 240 W 时的含水率。其原因是,在一定范围内,超声功率越

大,产生的能量越多,空化效应相应增强,使污泥中絮体结构被破坏,释放出结合水;若超声功率过大,产生的空化效应会过分破坏污泥颗粒,使沉降性能变差,反而不利于含水率的降低^[5]。因此,试验中将超声功率设置为240 W。

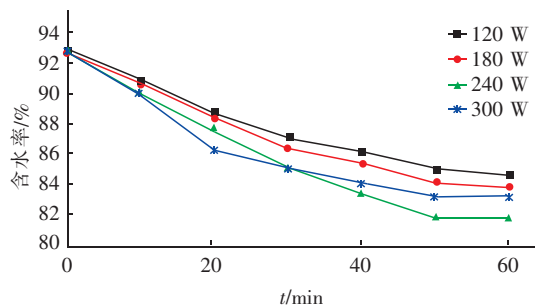


图1 超声功率对污泥含水率的影响

Fig. 1 Effect of ultrasonic wave power on moisture content of sludge

2.2.2 超声功率对COD的影响

图2为超声功率对COD的影响。

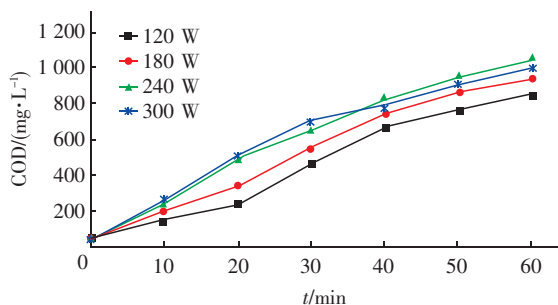


图2 超声功率对COD的影响

Fig. 2 Effect of ultrasonic wave power on COD

由图2可知,随着超声功率的增大,上清液中COD浓度呈增加趋势,并且120、180、240 W在60 min时分别达到842、935、1 035 mg/L;300 W时,在前30 min,COD浓度高于240 W时的对应浓度,但是随着时间的继续增加,反而低于240 W的。经过超声处理后,污泥中的微生物被破坏,细胞内的物质转移到液相中,使上清液中COD浓度上升。随着超声功率的增加,空化效应以及机械剪切力对细胞的破碎程度加强,微生物细胞内的物质溶出率上升,COD呈现不断升高趋势^[6],但是超声功率过大,导致污泥内部结构变形,严重打碎污泥颗粒,造成颗粒的重组,同时比表面积增大对水分的束缚程度增加,致使有机物的转移受到限制。

2.2.3 超声功率对NH₄⁺-N的影响

图3为超声功率对NH₄⁺-N的影响。

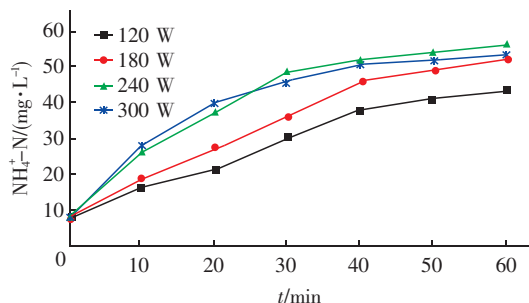


图3 超声功率对NH₄⁺-N的影响

Fig. 3 Effect of ultrasonic wave power on NH₄⁺-N

从图3可以看出,随着超声功率的增加,上清液中NH₄⁺-N浓度呈增大趋势,并且120、180、240 W在60 min时分别达到42.59、51.68、56.26 mg/L。当功率为300 W时,在前28 min,NH₄⁺-N浓度高于240 W时的相应浓度,但是随着时间的继续增加,反而低于240 W时相应的NH₄⁺-N浓度。分析原因,随着超声强度的增加,污泥絮体破碎程度增大,相互碰撞和粘合的机会增加,絮体间重新组合成为新颗粒,污泥内部结构得到调整。在最佳超声条件下,胞外聚合物中的内部水得到更多的释放而成为较易去除的自由水,并且大量的胞内和胞外物质随着水的流动而转移。

2.2.4 超声功率对总氮的影响

试验结果表明,随着超声功率的增加,上清液中总氮浓度呈增大趋势,并且120、180、240 W在60 min时分别达到51.49、60.74、68.62 mg/L。当功率为300 W时,0~30 min内总氮浓度高于240 W时的浓度,但是随着时间的增加,反而低于240 W的,这与NH₄⁺-N浓度的变化相一致。

3 结论

① 利用超声进行污泥脱水具有高效性。其最佳试验条件如下:超声功率为240 W,反应时间为40 min。

② 利用超声进行污泥脱水主要是依靠空化效应,超声波使污泥絮体破碎,致使结合水转变为较易去除的自由水,并释放出COD、NH₄⁺-N、总氮等营养物质到液相中,从而降低了污泥中的有机物含量,节约了污泥后续处理的成本和空间。

(下转第128页)