

超声波强化一次污泥沉降与脱水性能的研究

杨金美^{1†} 张光明¹ 王伟²

(1 清华大学深圳研究生院 深圳 518055)

(2 清华大学环境科学与工程系 北京 100084)

摘要 本文就超声波处理对一次污泥强化沉降与脱水性能进行了研究。对污泥性质中的 SV、滤饼含水率、比阻、粘度等进行了分析。分析表明短时间的超声作用可以提高污泥脱水和沉降性能, 超声处理 7s 后滤饼含水率降低 2.9%; 超声 10s 时粘度和比阻值最小, 比原污泥分别减小 29.4% 和 24.2%; 15s 后污泥沉降速率是原污泥的 3.7 倍。如投加絮凝剂, 投加量为 0.054g/L 时污泥沉降速率最快, 最终污泥体积为 84.5%, 粘度值最低, 为 84.5mpa·s。加入超声 10s 作用后, 最佳絮凝剂投加量为 0.027g/L, 且最终污泥体积比单独投加 0.054g/L 时减小 4%, 粘度值降低 14.8%。超声波与絮凝剂的联用可以改善污泥脱水性能和沉降性能, 减小絮凝剂的量达一半以上。

关键词 超声波, 一次污泥, 脱水性能, 聚丙烯酰胺

Ultrasonic enhancement of primary sludge dewatering

YANG Jin-Mei¹ ZHANG Guang-Ming¹ WANG Wei²

(1 Graduate school at Shenzhen, Tsinghua university, Shenzhen 518055)

(2 Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The pretreatment of primary sewage sludge using ultrasound is studied to improve settling and dewatering characteristics of the sludge. The dewatering properties are characterized by SV, water content of centrifuged sludge, COD, VFA, viscosity and specific resistance. The optimal ultrasonic conditions are 10s and 0.45W/ml. Under such conditions, the sludge viscosity and specific resistance are reduced by 29.4% and 24.2%, respectively. Water content of the centrifuged sludge is reduced by 2.9% after 7s ultrasonic treating, and the sludge settlement velocity after 15s ultrasonic treatment is 3.7 times of original sludge. The sludge volume is 84.5% and the viscosity is 84.5mpa·s when a coagulant dose, PAM, alone is 0.054g/L; after adding 10s ultrasound, these values reduce by 4% and 14.8% respectively with the coagulant dose of 0.027g/L. The combination of ultrasound and coagulant greatly enhances sludge dewatering and reduces the necessary dose of the coagulant from 0.05g/L to 0.027g/L.

Key words Ultrasound, Primary treated sludge, Dewaterability, PAM

2005-06-09 收稿; 2006-03-06 定稿

作者简介: 杨金美 (1980-), 女, 清华大学环境科学与工程系硕士研究生, 研究方向: 污泥处理。

张光明 (1973-), 女, 副教授。王伟 (1960-), 男, 教授, 博士生导师。

† 通讯联系人 Email: yangjm03@yahoo.com.cn; yangjm03@mails.tsinghua.edu.cn

1 引言

随着我国污水处理率的不断提高, 污泥产量不断增加。据统计, 我国城市污水处理厂每年排放干污泥约 20 万吨, 以湿污泥计约为 380 万~550 万吨, 并以每年 20% 的速度递增^[1]。其中很大一部分来自一级或一级强化处理, 称之为一次污泥。一次污泥一般没有经历微生物的分解代谢作用, 未经任何生物或化学处理, 亦称原生污泥。这种污泥以有机物为主(约占干重的 65%)、易腐烂发臭、颗粒较细、比重较小、含水率高且不易脱水, 属于胶状结构的亲水性物质^[2]。未处理一次污泥含水率高达 95% 以上, 经传统浓缩、脱水处理后含水量仍然很高, 后续处理处置问题突出, 它们散发臭气, 严重影响环境卫生; 对其进行填埋会占用大量土地, 渗滤液会严重污染地下水; 而污泥焚烧的费用比较昂贵, 污泥问题将成为今后城市一大环境问题^[3]。超声波预处理作为一种新型技术, 可以较好地破坏污泥絮状物结构, 提高脱水率, 缩短厌氧发酵时间, 因此引起广泛的兴趣^[4], 此外还具有反应条件温和, 操作简单等优点。在对含铬污泥的研究中我们发现短时间超声波处理可以很好的提高污泥沉降性能并改善污泥脱水性能^[5]。因此, 在本文中采用这一新型技术对一次污泥进行预处理, 以期改善其沉降与脱水性能, 利于后续处理处置。

2 材料与方法

2.1 实验仪器

槽式超声波反应器 (25kHz, 45W), 自制。

2.2 污泥来源

取自深圳某污水厂一级强化处理沉淀池。

2.3 分析方法

(1) 比阻抗: 比阻抗是表征污泥过滤脱水性能的重要指标^[6], 以 r 表示;

(2) 粘度: 粘度计;

(3) 12h 污泥沉降比 (Settling Velocity), 简称为 SV: 取 100ml 污泥放入量筒中, 记录自由沉降过程中所形成沉淀污泥的容积占原混合液容积的百分率, 以 % 表示。

(4) 上清液有机物化学需氧量 (简称 COD): 滴定法;

(5) 挥发性脂肪酸 (简称 VFA): 滴定法;

2.4 实验方法

取定量污泥于反应器中, 加超声一定时间后, 取出部分, 置于 100ml 量筒中测 12hSV, 部分离心后测滤饼含水率 (5000rpm, 10min)。

3 结果与分析

表 1 列出了原污泥的基本性质。

表 1 原污泥基本参数

污泥类型	含水率 (%)	pH 值	污泥的悬浮	污泥的可挥发性
			固体浓度 SS (mg/L)	悬浮固体浓度 VSS (mg/L)
一次污泥	95.78	6.36	8183.30	949.87

3.1 超声处理时间的影响

图 1 是不同超声时间处理下污泥的 12 小时 SV 变化图, 沉降速率与时间基本呈对数关系。原污泥沉降方程式为 $y = -0.905 \ln(x) + 99.288$, $R^2 = 0.9152$, 方程斜率即为污泥沉降速率, 共 12h 后污泥 SV 为 96.9%。加入超声作用后, 污泥沉降速率得到提高, 污泥沉降性能最好的超声处理时间为 15s, 其沉降方程式为 $y = -3.3282 \ln(x) + 97.048$, $R^2 = 0.9849$, 通过方程可得污泥沉降速率是原污泥的 3.7 倍。12h 后最终污泥 SV 为 89%, 比未处理污泥小 7.9%。随着超声处理时间的延长, 污泥沉降性能逐渐下降甚至恶化。沉降速率变快, 可以缩短重力沉降时间, 减小占地面积; 沉降性能变好, 使得相同沉降时间内污泥体积更小, 固含量提高, 甚至可以用长时间重力沉降来代替传统的机械脱水。

图 2 是一次污泥不同超声处理时间后滤饼含水率变化图。一次污泥超声波处理后滤饼含

水率基本降低，最低滤饼含水率出现在超声时间为 7s 时，含水率从 83.1% 降到了 80.2%。这说明超声时间较短有利于提高污泥的脱水性能，时间过长则会恶化脱水性能，可能因为超声波对凝聚^[4]有促进作用。超声波对污泥的一些作用，如局部发热、扰动和空化，能够使污泥中生物细胞破壁，并加速固液分离过程，改善污泥脱水性能。但是长时间的超声辐射，输入的总声能过大，会使污泥絮体的颗粒粒径达到十几个微米的级别，污泥比表面积增大，水紧密地吸附在颗粒的表面，脱水性能反而下降。

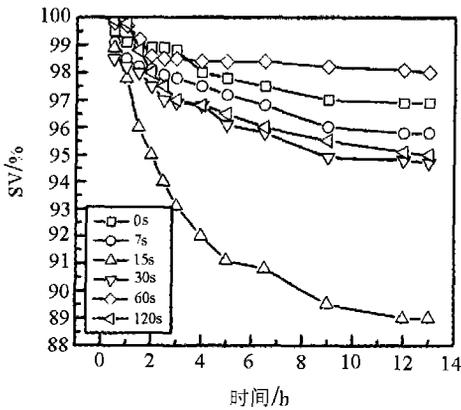


图 1 一次污泥 12h 的 SV 变化图

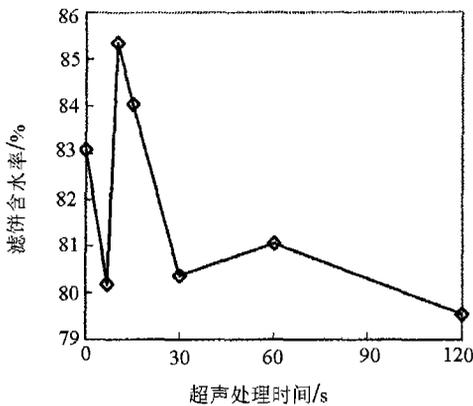


图 2 一次污泥滤饼含水率变化图

比阻抗和粘度是污泥脱水性能的重要指标。污泥比阻抗越大，其脱水性能越差，污泥比阻抗越小，脱水性能就越好；而粘度值的外

观表现是悬浮液颗粒间交互作用大小的内部反映，与比阻抗有很好的线性关系，是评价脱水性能很好的指标^[7]，粘度值越小，脱水性能越好。

图 3 是一次污泥不同超声波处理时间下的比阻抗和粘度变化图。图中可以看出，污泥在超声 10s 后比阻值最小，脱水性能最好，此时同时出现的粘度最小值也印证了这一点。比阻值从原污泥的 2.05×10^9 降到了超声 10s 后的 1.57×10^9 ，减小了 24.2%；粘度值从初始的 0.17pa·s 减小到 0.12pa·s，下降了 29.4%，即污泥在超声波作用下，短时间就会有明显的效果。这可能是由于在超声波短时间的作用下，污泥体系的絮状网络结构受超声振动的剪切作用（类似于机械搅拌）的影响，被部分的破碎成较小尺寸的网状絮体，从而破坏了原絮体之间强大的分子作用力，表现出来粘度的不断降低，过滤阻力逐渐减小，并最终趋于平稳，再延长作用时间显然在处理效果上没有明显的提升^[8]。长时间的超声作用后，絮状物可能被打碎成小的颗粒，在过滤时堵住滤饼而增加过滤阻力，颗粒之间重新形成较大作用力，比阻值与粘度值逐渐增大。

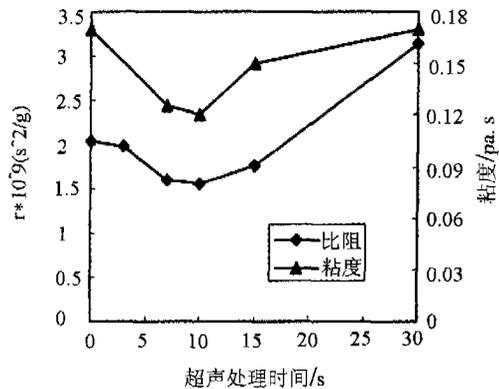


图 3 超声波处理后一次污泥粘度和比阻抗 b/m 变化图

图 4 是一次污泥不同超声处理时间后上清液 COD 和 VFA 变化图。在 15s 以内 COD 随

着超声时间的增加而缓慢增加。但是可能由于超声时间较短, 这种 COD 的增大趋势并不明显。VFA 与 COD 基本上有类似趋势。在超声 10s 时有所增长。由于实验中应用的超声时间短、强度低, 因此实验中可能出现污泥絮凝物分解而不是细胞的破坏。如果是这样, 这表示超声波可以使污泥中的有机物从固相转移到液相, 这种作用在一定范围内与时间成正比。而 COD 的逐渐增大往往伴随着污泥脱水性能的下降。

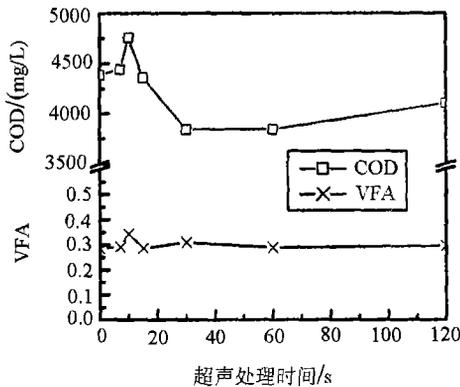


图 4 不同超声时间下污泥 COD 和 VFA 变化图

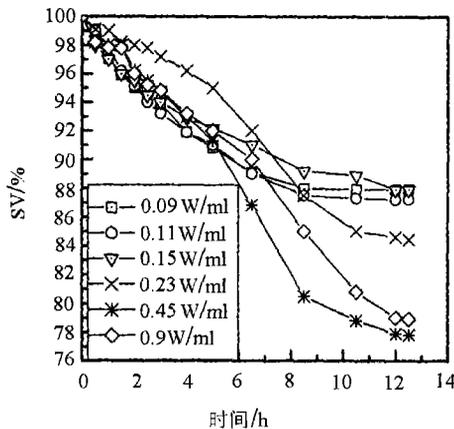


图 5 一次污泥 12h 的 SV 值变化曲线

3.2 超声声密度的影响

超声波功率一定时, 改变作用污泥体积就相应地改变了单位体积所接受的超声波能量, 也就是声密度, 实验中用电功率纪录超声能量

密度。图 5 是超声波不同声密度下 12h 的 SV 变化曲线图。当超声声密度为 0.45W/ml 和 0.9W/ml 时, 污泥沉降性能较好, 12h 后最终污泥沉降比为 77.8%, 比原污泥减小 19.1%。最终污泥沉降比的减小, 可以使污泥在足够时间内依靠重力沉降, 这甚至可以取消机械脱水。这可能是由于适当强度的超声波可以改变污泥的团聚性能, 使其更容易脱水。

3.3 投加絮凝剂后污泥脱水性能的变化

图 6 是投加絮凝剂 PAM 后污泥 12hSV 变化图。试验中所用絮凝剂为非离子型聚丙烯酰胺

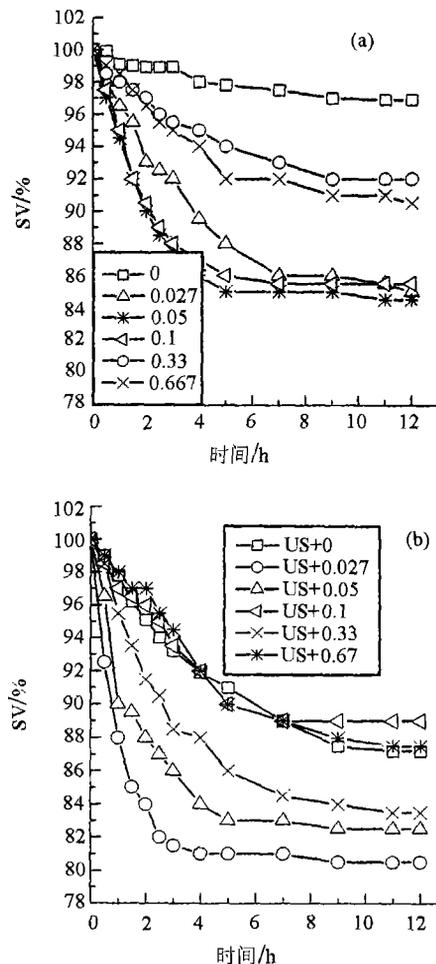


图 6 投加絮凝剂后一次污泥 12hSV 变化图 (a) 单独投加 PAM (b) 超声波 +PAM

胺 (PAM, 分子量 ≥ 500)。从图 (a) 中可以看出, 单独投加絮凝剂 PAM 后, 污泥沉降速率明显提高, 当絮凝剂投加量为 0.05g/L 时沉降速率最快, 但是随着絮凝剂投加量的增加, 污泥沉降速率逐渐下降。这可以用结构瓦解理论 (Poxor, 1996) 来解释: 污泥中含有一种像凝胶一样的生物抵触结构限制水的移动从而导致较差的脱水性能。聚合电解质的加入可以使这种结构倒塌变成聚合物的表面, 这样就释放出了内部水, 因此污泥沉降性能有所改善。

当絮凝剂投加量为 0.027g/L 时, 最终污泥体积为 85% , 而加入超声 10s 作用后, 最终污泥体积减小为 80.5% ; 絮凝剂投加量为 0.05g/L 时, (a) 图和 (b) 图中最终污泥体积分别为 84.5% 和 82.5% ; 絮凝剂投加量为 0.1g/L 时, (a) 图和 (b) 图中最终污泥体积分别为 85.5% 和 89% , 加超声后污泥沉降性能有所下降, 说明已经达到饱和。相同絮凝剂剂量下, 加入 10s 的超声波作用可以使污泥沉降速率更快。而由于脱水过程中, 超声波与絮凝剂所起的作用一致, 因此, 超声波和絮凝剂的联合作用使得絮凝剂的过饱和浓度降低, 当絮凝剂投加量为 0.67g/L 时, 12h 沉降比单独超声时还差。

(a) 图中沉降性能最好的絮凝剂用量为 0.05g/L , 超声 10s 后, 沉降性能最好的絮凝剂用量为 0.027g/L , 且 12h 后污泥体积为 80.5% , 比单独投加 PAM 0.5g/L 低 4% , 这就说明超声波与絮凝剂的联用可以提高污泥的沉降性能, 同时减小絮凝剂的用量一半以上。

目前市场上絮凝剂 PAM 可以卖到万元/吨, 过量的聚丙烯酰胺长时间后会分解出单体丙烯酰胺, 而这种单体是有毒的也是难生物降解的。减少絮凝剂用量就大大降低了成本, 有效避免了有毒物质的产生。

图 7 为投加絮凝剂后一次污泥粘度变化图。投加絮凝剂后, 污泥粘度值先下降然后逐渐上升, 当絮凝剂的量为 0.054g/L 时, 污泥粘度值下降到最低点 $73\text{mpa}\cdot\text{s}$, 比原污泥降低 37.1% , 随后粘度值随絮凝剂量的增加而增大。这充分

说明了絮凝剂投加量为 0.054g/L 时污泥脱水性能最好, 随着投加量的增大, 污泥脱水性能变差。这可能是由于残留的絮凝剂导致了脱水性能下降^[9]。

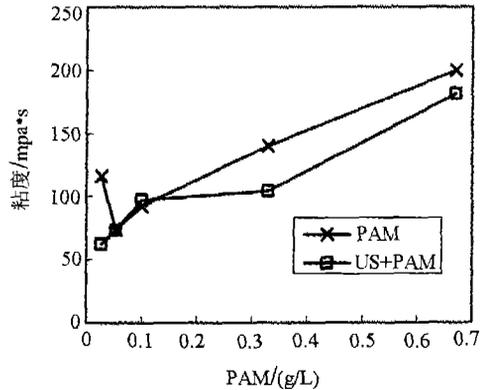


图 7 投加絮凝剂后一次污泥粘度变化图

声密度为 0.15W/ml , 超声处理 10s 后加入絮凝剂, 污泥粘度值继续降低。絮凝剂的量为 0.33g/L 时, 单独投加絮凝剂后粘度值为 $140\text{mpa}\cdot\text{s}$, 而加入超声作用后粘度值为 $104.2\text{mpa}\cdot\text{s}$, 减小了 25.6% ; 絮凝剂的量为 0.027g/L 时, 污泥粘度值最低, 从絮凝剂单独作用的 $116\text{mpa}\cdot\text{s}$ 降到超声波和絮凝剂联合作用的 $62.2\text{mpa}\cdot\text{s}$, 减小了 46.4% 。单独投加絮凝剂时最佳投加量为 0.054g/L , 超声 10s 后, 投加量为 0.027g/L 时粘度值最低, 比单独投加 0.054g/L 时还要低 14.8% 。这些都说明了超声波和絮凝剂联合作用可以进一步减小污泥的粘度, 提高其脱水性能, 还可以减小絮凝剂用量的一半以上, 这与上面的结论是一致的。

4 结论

(1) 对于一次污泥, 短时间的超声波处理可以改善污泥的脱水和沉降性能。一次污泥超声 7s 后滤饼含水率可以降低 2.9% , 超声 10s 时粘度和比阻值最小, 分别降低 29.4% 和 24.2% ; 超声 15s 的污泥沉降速率是原污泥的 3.7 倍。

(2) 加入超声波作用可以使相同絮凝剂投

