

# 剩余污泥与厌氧消化污泥的脱水性能对比

吴宇琦<sup>1,2</sup>, 姜应和<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 南华大学 土木工程学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:** 为了实现污水厂剩余污泥的资源化,污泥厌氧消化工艺的应用愈加普遍,厌氧消化过程是否会对剩余污泥的脱水性能产生影响是值得研究的问题。为此,利用加药污泥真空抽滤试验考察了污泥的脱水性能,结果表明,中温厌氧消化污泥(MADS)的比阻和过滤时间( $TTF_{50}$ )均大于剩余污泥(EAS)以及含水率接近厌氧消化污泥的浓缩后剩余污泥(TEAS),剩余污泥经浓缩后脱水速率有一定的降低,而厌氧消化过程会使剩余污泥的脱水速率大幅度降低。激光衍射粒度分析仪的测定结果显示,EAS及MADS的平均粒径分别为70.44、42.00  $\mu\text{m}$ ,比表面积分别为2 122、3 743  $\text{cm}^2/\text{mL}$ ;由紫外光谱和傅里叶变换红外光谱对胞外聚合物(EPS)的分析表明,厌氧消化后污泥液相中的核酸量大幅增加,细胞壁被破坏,蛋白质和多聚糖等大分子物质被降解为小分子物质。由污泥理化特性的检测结果可以推断,厌氧消化污泥的脱水速率低于剩余污泥,但若加大脱水压差或延长脱水时间,厌氧消化污泥的泥饼含水率会更低。

**关键词:** 剩余污泥; 厌氧消化污泥; 脱水性能; 理化特性

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0082-04

## Comparison of Dewaterability between Excess Activated Sludge and Anaerobic Digestion Sludge

WU Yu-qi<sup>1,2</sup>, JIANG Ying-he<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. School of Civil Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** Anaerobic digestion process will be widely used to achieve reutilization of excess activated sludge(EAS) in WWTP, and the effects of anaerobic digestion on sludge dewaterability are worth studying. Thus, dewaterability of the conditioned sludge was tested by vacuum filtration. Results showed that, specific resistance and filtration time ( $TTF_{50}$ ) of mesophilic anaerobic digestion sludge (MADS) were both larger than that of EAS and thickened excess activated sludge (TEAS). Dewater velocity of TEAS was slightly less than EAS, while anaerobic digestion would lead to remarkable decrease of EAS dewater velocity. The results of laser diffraction particle size analyzer indicated the mean particle size of EAS and MADS were 70.44  $\mu\text{m}$  and 42.00  $\mu\text{m}$ , and the specific surface area were 2 122  $\text{cm}^2/\text{mL}$  and 3 743  $\text{cm}^2/\text{mL}$  respectively. Analysis of extracellular polymer substance (EPS) by ultraviolet spectra and Fourier transform infrared spectra illustrated that nucleic acid in aqueous phase increased obviously after

anaerobic digestion, and cell walls were broken along with protein and polysaccharide were degraded into smaller molecular substances. According to the results of sludge physicochemical characteristics analysis, it could be concluded that the dewater velocity of MADS was less than that of EAS, however, lower water content of anaerobic digestion sludge cake could be achieved through increasing the dewatering differential pressure or prolonging the filtration time.

**Key words:** excess activated sludge; anaerobic digestion sludge; dewaterability; physico-chemical characteristics

厌氧消化是大型污水处理厂普遍采用的污泥稳定化工艺,它可以使污泥中的有机组分转化为稳定的最终产物并回收能源,实现污泥的稳定化和资源化,但消化过程有可能会对污泥的脱水性能产生影响<sup>[1]</sup>。大量的研究发现,污泥颗粒粒径分布及胞外聚合物(EPS)含量分布是影响污泥脱水性能的两个关键因素<sup>[2]</sup>。裴海燕等人<sup>[3]</sup>对含水率为99.44%的剩余污泥和含水率为98.6%的厌氧消化污泥进行相关研究,发现厌氧消化污泥的脱水性能会变差。但目前尚没有学者对含水率相近的浓缩后剩余污泥与厌氧消化污泥的脱水性能进行过比较研究。鉴于此,笔者通过向污泥中投加阳离子聚丙烯酰胺(CPAM),比较初始剩余污泥、浓缩后剩余污泥和厌氧消化污泥脱水性能的差异,测定表征污泥脱水性能的污泥比阻(SRF)、过滤时间( $TTF_{50}$ )和污泥滤饼含水率,并从污泥颗粒粒径分布和EPS含量及组成两个方面对污泥脱水性能差异进行分析,以期为提高消化污泥脱水性能提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

剩余污泥和厌氧消化污泥取自武汉市某污水处理厂,该污水厂采用厌氧/好氧(A/O)生物除磷工艺,污泥处理采用一级中温消化工艺。剩余污泥、自然沉降浓缩后的剩余污泥和厌氧消化污泥分别记作EAS、TEAS和MADS,三者的含水率分别为98.8%、97.1%、96.9%。污泥调理剂采用阳离子聚丙烯酰胺(CPAM),其阳离子度为50%,分子质量为12 000 ku。调理污泥前,用蒸馏水将CPAM配制成浓度为1 g/L的溶液,现配现用。

### 1.2 分析方法和仪器

利用真空抽滤试验测定污泥的过滤时间( $TTF_{50}$ ,指100 mL污泥样品在抽滤过程中收集到50 mL滤液所用的时间)、污泥比阻(SRF)和滤饼含水率。在抽滤过程中,真空度保持在0.03 MPa,采

用7 cm双层中速定性滤纸过滤,剩余污泥、浓缩后剩余污泥和厌氧消化污泥的抽滤时间分别为20、50和90 min,对各污泥继续抽滤30 s均不再有水分滤出。

污泥粒径及分布、比表面积采用激光衍射粒度分析仪测定。

EPS的提取方法:污泥样品在25℃、4 500 r/min条件下离心30 min,再经过0.45 μm滤膜过滤得到溶解性EPS。将一定体积的滤液在105℃下烘干,采用重量法测定EPS含量。利用紫外-可见光(UV-vis)分光光度计和傅里叶变换红外光谱(FT-IR)仪测定溶解性EPS的UV光谱和FTIR光谱,以分析其中的有机物含量和有机官能团的变化。

## 2 结果与讨论

### 2.1 污泥的脱水性能

将预先配制好的CPAM按0、0.5、1.0和1.5 kg/tTS分别投加到剩余污泥和厌氧消化污泥中,在混凝搅拌仪上以100 r/min搅拌1 min。经CPAM调理前后三种污泥的SRF和 $TTF_{50}$ 如表1所示。可以看出,在相同的CPAM投加量下,剩余污泥经浓缩后脱水速率有所降低,厌氧消化污泥的SRF和 $TTF_{50}$ 均大于剩余污泥及浓缩后剩余污泥的,即厌氧消化污泥的脱水速率最低。

表1 不同CPAM投加量下EAS、TEAS和MADS的SRF和 $TTF_{50}$

Tab.1 SRF and  $TTF_{50}$  of EAS, TEAS and MADS with CPAM conditioning

项 目		CPAM 投加量/(kg · t <sup>-1</sup> TS)			
		0	0.5	1.0	1.5
EAS	SRF/(10 <sup>11</sup> m · kg <sup>-1</sup> )	4.91	3.13	2.35	2.26
	$TTF_{50}$ /s	110	80	65	30
TEAS	SRF/(10 <sup>11</sup> m · kg <sup>-1</sup> )	5.12	3.92	2.84	2.68
	$TTF_{50}$ /s	345	240	180	60
MADS	SRF/(10 <sup>12</sup> m · kg <sup>-1</sup> )	2.46	1.18	0.74	0.27
	$TTF_{50}$ /s	3 000	1 020	540	192

## 2.2 污泥粒径分布及比表面积

图1和图2分别为剩余污泥和厌氧消化污泥颗粒粒径的频度分布和累计分布曲线。由图1可知,剩余污泥中粒径为83.9  $\mu\text{m}$ 的颗粒所占比例最大,体积分数为5.57%;而厌氧消化污泥中36.24  $\mu\text{m}$ 的颗粒所占比例最大,体积分数为5.23%。由图2可知,剩余污泥粒径在100  $\mu\text{m}$ 以下的颗粒所占体积比约为75%,而厌氧消化污泥则为94%左右。

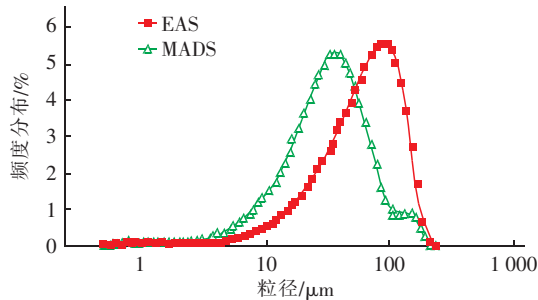


图1 污泥颗粒粒径频度分布

Fig.1 Size distribution of differential volume percent

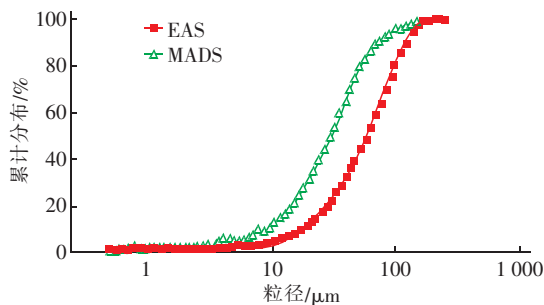


图2 污泥颗粒粒径累计分布

Fig.2 Size distribution of cumulative volume percent

表2是剩余污泥和厌氧消化污泥的粒径分布统计及其比表面积。可知,厌氧消化过程使污泥粒径显著减小,进而导致颗粒比表面积增大,对水的吸附能力增强,致使脱水性能变差。

表2 剩余污泥和厌氧消化污泥的粒径分布和比表面积

Tab.2 Particle size distribution and specific surface area of EAS and MADS

项目	平均粒径/ $\mu\text{m}$	粒径分布 $d_f/\mu\text{m}$					比表面积/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{mL}^{-1})$
		$d_{10}$	$d_{25}$	$d_{50}$	$d_{75}$	$d_{90}$	
EAS	70.44	17.91	35.46	64.82	100.04	132.09	2 122
MADS	42.00	10.23	19.56	33.75	53.61	80.80	3 743

注:  $d_f$  为样品中体积累计百分比为  $f\%$  时颗粒的最大直径。

## 2.3 EPS 分析

胞外聚合物是在一定环境条件下由微生物分泌

于体外的一些高分子聚合物,主要成分为蛋白质和多聚糖,另有少量腐殖酸、核酸和脂类等。许多研究结果显示 EPS 含量及其组成成分对污泥性能有很大的影响。本试验的测定结果表明,剩余污泥和厌氧消化污泥中的溶解性 EPS 含量分别为 310 mg/L 和 760 mg/L,厌氧消化使污泥中的溶解性 EPS 含量增幅达到 145%。

图3是污泥的 UV 光谱,可以看出,厌氧消化后,污泥溶解性 EPS 的吸光度 (ABS) 显著增加,其中在 240 ~ 300 nm 之间出现了新吸收带,蛋白质和核酸在该波长范围内有强烈的吸收,而核酸是微生物细胞内特有的物质,未经处理的污泥 EPS 中核酸含量相对较少,由此推断,厌氧消化过程促使微生物细胞结构被破坏,从而将大量的蛋白质和核酸等物质从固相释放到液相中,同时形成了数量众多的小颗粒。

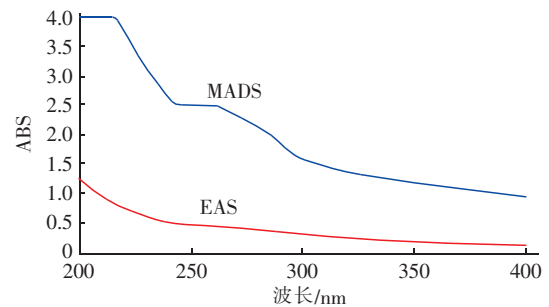


图3 污泥溶解性 EPS 的 UV 光谱

Fig.3 UV spectra of EPS in sludge supernatant

图4是溶解性 EPS 的 FTIR 光谱。

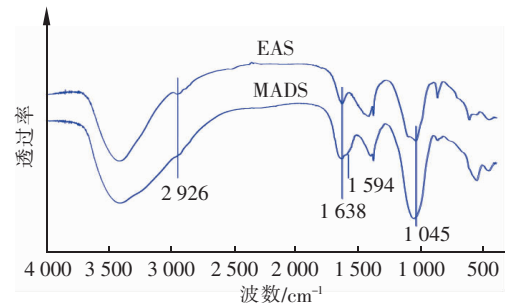


图4 污泥溶解性 EPS 的 FTIR 光谱

Fig.4 FTIR spectra of EPS in sludge supernatant

由图4可以看出,厌氧消化后溶解性 EPS 的部分功能基团发生了变化:位于 2 926  $\text{cm}^{-1}$  附近的  $\text{CH}_2$  反对称伸缩振动明显减弱,指示脂类含量减少,表明消化过程使胞外聚合物中的部分成分降解;位于 1 638  $\text{cm}^{-1}$  和 1 045  $\text{cm}^{-1}$  附近的峰强大幅增加,

分别指示着酰胺Ⅰ(蛋白质肽键)和多聚糖含量的增加,表明厌氧消化使更多蛋白质和多聚糖由不溶态转变为溶解态,进入污泥液相中;在 $1\,594\text{ cm}^{-1}$ 附近新出现的是酰胺Ⅱ(蛋白质肽键)吸收峰,表明有更多新种类的蛋白质由不溶态变为可溶态。污泥在厌氧消化过程中,有机物进一步得到降解。

由以上分析可以推测,厌氧消化过程会释放大量的EPS到污泥液相,并且其主要成分蛋白质和多聚糖等大分子物质会进一步被降解为小分子物质。这些进入污泥液相的过量EPS会增加污泥的表观粘度,降低污泥过滤性能,从而使厌氧消化污泥的脱水速率变小。

表征污泥脱水程度的滤饼含水率变化如表3所示。由前述试验结果和表3可知,尽管消化过程会降低剩余污泥的脱水速率,但在相同CPAM调理和延长真空抽滤时间的条件下,厌氧消化污泥的滤饼含水率低于剩余污泥的。其原因是消化过程使污泥絮体解体、细胞壁破裂,在降解有机物实现污泥稳定化的同时,更多的结合水被释放成为自由水,在加大过滤压差或延长过滤时间的条件下,可以使泥饼的含水率更低。

表3 不同CPAM投加量下EAS和MADS的泥饼含水率

Tab.3 Water content of sludge cake of EAS and MADS with CPAM conditioning %

项 目	CPAM 投加量/( $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}\text{TS}$ )			
	0	0.5	1.0	1.5
EAS	80.70	80.17	80.06	78.53
MADS	79.83	77.10	77.00	74.51

### 3 结论

① 在相同CPAM投加量下,以SRF和 $\text{TTF}_{50}$ 评价污泥的脱水性能,剩余污泥经沉降浓缩后脱水速率有所降低,而厌氧消化过程会更大幅度地降低污泥的脱水速率。

② 厌氧消化过程可以显著减小污泥颗粒粒径,消化后污泥的平均粒径由原来的 $70.44\text{ }\mu\text{m}$ 减小为 $42.00\text{ }\mu\text{m}$ ,超胶体颗粒的数量大幅增加;粒径

的减小导致比表面积增加,对水的吸附能力增强,因此脱水性能变差。

③ 厌氧消化过程促使大量的EPS由固相转移至液相,溶解性EPS含量的增幅达到145%,其中的主要成分蛋白质和多聚糖等被降解为小分子物质,可以实现污泥的稳定化,但过量的溶解性EPS会增加污泥的表观粘度,降低污泥过滤性能。

④ 消化过程使污泥絮体解体、细胞破裂,更多的结合水释放成为自由水,若延长过滤时间或者加大过滤压差,可以实现更好的脱水效果。

### 参考文献:

- [1] Meeroff D E, Waite T D, Kazumi J, et al. Radiation-assisted process enhancement in wastewater treatment[J]. J Environ Eng, 2004, 130(2): 155-166.
- [2] 王红武, 李晓岩, 赵庆祥. 活性污泥的表面特性与其沉降脱水性能的关系[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(6): 766-769.
- [3] 裴海燕, 胡文容, 李晶, 等. 活性污泥与消化污泥的脱水特性及粒径分布[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2236-2242.



作者简介: 吴宇琦(1988-), 女, 山西太谷人, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为水处理与水污染控制。

E-mail: woshiyaya7@126.com

收稿日期: 2017-04-21