



文章栏目：固体废物处理与资源化

DOI 10.12030/j.cjee.201902110

中图分类号 X705

文献标识码 A

刘博文, 金若菲, 兰兵兵, 等. 热碱-EDTA 耦合法强化污泥破解及效果分析[J]. 环境工程学报, 2020, 14(1): 217-223.

LIU Bowen, JIN Ruofei, LAN Bingbing, et al. Strengthening sludge disintegration by thermal alkali-EDTA coupling method and its effect analysis[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(1): 217-223.

## 热碱-EDTA 耦合法强化污泥破解及效果分析

刘博文, 金若菲\*, 兰兵兵, 柳广飞, 周集体

大连理工大学环境学院, 工业生态与环境工程教育部重点实验室, 大连 116024

第一作者: 刘博文(1993—), 男, 硕士研究生。研究方向: 污泥破解处理。E-mail: lbw4712@163.com

\*通信作者: 金若菲(1975—), 女, 博士, 副教授。研究方向: 污泥资源化等。E-mail: jin\_ruofei@163.com

**摘要** 采用热碱-EDTA 耦合法进一步提升热碱法破解污泥的效果, 以期减少碱量和热能的消耗。选用影响污泥破解效果的 pH、温度和 EDTA 投加量等因素设计  $L_{16}(4^4)$  的正交实验, 在得出最佳污泥破解条件下, 对比考察了热碱法和热碱-EDTA 耦合法破解污泥的效果。结果表明, 热碱-EDTA 耦合法相比热碱破解法, 破解后 SCOD、TN、TP、多糖和蛋白质溶出量分别提高了 14.7%、5.6%、9.9%、3.6% 和 25.9%, 污泥残渣中 VS 的含量 (21.93%) 也小于热碱破解法 (29.68%), 破解液中分子质量小于 400 Da 的小分子物质占比 (40.68%) 大于热碱破解的对应结果 (32.34%)。通过污泥粒径测定和 SEM 观察发现, 热碱-EDTA 耦合法破解的污泥粒径分布峰值响应小于热碱破解, 污泥固体分散性优于热碱破解。通过分析可知, 热碱-EDTA 耦合法可以提高中低温条件下热碱破解的有机物溶出率和有机物水解性能, 降低污泥残渣中 VS 的相对含量, 热碱-EDTA 耦合法相比热碱法强化了污泥的破解效果。

**关键词** 污泥破解; 热碱; 乙二胺四乙酸; 破解液; 溶解性有机物质

《全球及中国污泥处理处置行业发展研究报告》指出, 2018 年, 中国污泥总产量为  $5.67 \times 10^7$  t, 随着城市化进程的加快, 预计到 2020 年, 中国污泥总产量将达到  $6.18 \times 10^7$  t。产生的大量污泥给污泥的处理工作带来了很大的压力, 而且传统的焚烧和填埋等处理方式越来越不能满足处置理念的升级和环境相关管理政策的规定<sup>[1]</sup>。目前, 污泥减量化和资源化是污泥处理处置领域的研究热点之一, 通过污泥破解的预处理方式能够实现污泥的资源化和减量化的目标<sup>[2]</sup>。污泥破解的过程是将污泥絮体内部及表面的胞外聚合物 (EPS) 破坏, 使得细胞壁破裂, 胞内有机物溶出的过程<sup>[3]</sup>。热碱破解法是最常用的方法之一, 但该法用碱量大, 需要大量能量输入 (一般大于  $100\text{ }^\circ\text{C}$ )<sup>[4-6]</sup>, 因此, 在污泥资源化大规模处理中, 其大量使用受到了限制。

近年来, 为了增强污泥破解效果, 国内外学者对常用的热碱破解法进行了各种尝试性优化和改进。DEMIR<sup>[7]</sup> 采用 The Box-Behnken 实验对热碱法破解污泥的参数做了优化, 在  $90\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaOH 和 25 min 破解条件下, 污泥最佳破解率为 77.83%。DENG 等<sup>[8]</sup> 采用响应面优化法对热碱法破解污泥的工艺做了参数优化, 在  $90\text{ }^\circ\text{C}$ 、104 min、pH=12 的最优条件下, 污泥的破解率可达 46.45%, 破解后甲烷产率比原污泥提高了 79%。徐慧敏等<sup>[9]</sup> 将超声和热碱技术联合, 找到了最佳的破解工艺组合: 温度为  $73.06\text{ }^\circ\text{C}$ 、加碱量为  $0.085\text{ g}$  (以  $1\text{ g}$  湿污泥计), 超声能量为  $9\ 551\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。徐

收稿日期: 2019-02-26; 录用日期: 2019-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (21876023)

慧敏等<sup>[10]</sup>进一步采用超声联合热碱法破解不同含固率的污泥,对有机质释放情况进行了研究,提出污泥含固率为10%时,溶解性蛋白质和多糖浓度的释放最多。

除对热碱法进行中低温下的参数优化和物理方面的改进外,进一步尝试化学等其他改进方向的探索是有必要的。乙二胺四乙酸(EDTA)是一种较强的螯合剂,能够改变微生物的细胞结构,促进细胞胞外物质与污泥细胞的分离,故经常被用到污泥EPS的溶解提取中<sup>[11-12]</sup>。ZOU等<sup>[13]</sup>在研究废活性污泥在厌氧发酵过程中发现,通过添加EDTA可以增强细胞内磷的释放,经研究表明,这是因为EDTA对细胞膜的损伤所致。NGUYEN等<sup>[14]</sup>在污泥厌氧发酵中使用EDTA后显著减少了污泥量。肖倩等<sup>[15]</sup>利用EDTA法对硝化污泥胞外紧密型EPS进行了提取,发现EDTA对紧密型EPS具有一定溶解作用。以上这些研究结果表明EDTA对EPS具有一定的溶解破坏作用,可以造成细胞膜的损伤。本研究尝试将EDTA和热碱法进行耦合,在中低温条件下,考察EDTA对热碱破解污泥效果的影响,为强化污泥热碱破解提供方法参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

实验所需污泥取自大连春柳河污水处理厂脱水污泥。污泥含水率为84.58%,挥发性固体含量(VS)为71.06%。脱水污泥保存于4℃冰箱中备用。

### 1.2 实验方法

批式正交实验和最佳条件下的破解实验均配制4L污泥反应液,搅拌2min,过10目的筛网除去毛发、沙粒等大粒径物质后,用1 mol·L<sup>-1</sup> NaOH和1 mol·L<sup>-1</sup> HCl溶液调节pH,加入EDTA,搅拌2min,然后放入控制恒定搅拌速度的集热式恒温加热磁力搅拌器中,设置反应温度后,进行反应。

1) 正交实验。实验选取对污泥破解效果影响较显著的5个因素:pH、温度、固液比、反应时间、EDTA投量。依据单因素实验结果,pH水平定为11.5、12、12.5、13,温度水平定为75、80、85、90℃,固液比(湿污泥与水的质量比)水平定为1:8.5、1:10、1:11.5、1:13,反应时间水平定为2.5、3、3.5、4h,EDTA投量水平定为每10g湿污泥投加0.08、0.11、0.14、0.17g。选用5因素4水平正交表L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>)进行实验设计,设置每个实验组后,同时设置在4L纯水中只添加EDTA的空白组。

2) 热碱-EDTA耦合法破解效果实验。采用最佳破解条件,配制4L污泥反应液,调节pH,添加EDTA,放入水浴反应器中,设置反应温度后,进行反应。同时设置未添加EDTA的对照组、只添加EDTA的对照组(在常温下反应)和在4L纯水中只添加了EDTA的空白组。

### 1.3 分析方法

经过破解的污泥样品每隔30min进行取样,以10 000 r·min<sup>-1</sup>离心20min后,取上清液过0.45 μm滤膜,测定SCOD、总氮(TN)、总磷(TP)、多糖和蛋白质的质量浓度,测定后弃掉上清液,对剩余的污泥残渣采用重量法测定总固体(TS)和VS。其中,SCOD采用重铬酸钾法<sup>[16]</sup>测定,TN和TP采用过硫酸钾消解法<sup>[16]</sup>测定,多糖采用苯酚-硫酸法<sup>[17]</sup>测定,蛋白质采用考马斯亮蓝法<sup>[17]</sup>测定。污泥粒径采用激光粒度仪(Malvern Mastersizer 2000,英国Malvern公司)分析。溶解性有机物质(DOM)用凝胶渗透色谱仪(GPC)(VE 2001 GPC-TDA 302,美国Viscotek公司)分析。污泥的微结构采用钨灯丝扫描电镜(QUANTA 450,美国FEI公司)分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 最佳破解条件的选取及各影响因素显著性分析

选用L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>)正交实验表设计5因素4水平正交实验,以SCOD溶出量为评价污泥破解效果的指标。正交实验的设计及实验结果如表1所示。由于EDTA可能会对SCOD有所贡献,计算时应减去同条件下的空白值。

表 1 热碱-EDTA 耦合法破解污泥的正交实验设计及结果

Table 1 Orthogonal test design and results of thermal alkali-EDTA coupling method for disintegration sludge

实验编号	pH	温度/℃	固液比	反应时间/h	EDTA质量 (以 1 g 湿污泥计)/g	SCOD/(mg·L <sup>-1</sup> )
1	11.5	75	1:8.5	2.5	0.008	8 832.0
2	11.5	80	1:10	3	0.011	9 826.4
3	11.5	85	1:11.5	3.5	0.014	8 396.0
4	11.5	90	1:13	4	0.017	8 332.0
5	12	75	1:10	3.5	0.017	10 051.2
6	12	80	1:8.5	4	0.014	10 692.8
7	12	85	1:13	2.5	0.011	8 096.0
8	12	90	1:11.5	3	0.008	8 543.2
9	12.5	75	1:11.5	4	0.011	10 851.2
10	12.5	80	1:13	3.5	0.008	7 854.4
11	12.5	85	1:8.5	3	0.017	14 400.0
12	12.5	90	1:10	2.5	0.014	12 980.8
13	13	75	1:13	3	0.014	9 862.4
14	13	80	1:11.5	2.5	0.017	10 156.8
15	13	85	1:10	4	0.008	12 500.8
16	13	90	1:8.5	3.5	0.011	13 414.4
$k_{DD1}$	8 846.6	9 899.2	11 834.8	10 016.4	9 432.6	
$k_{DD2}$	9 345.8	9 632.6	11 339.8	10 658.0	10 547.0	
$k_{DD3}$	11 521.6	10 848.2	9 486.8	9 929.0	10 483.0	
$k_{DD4}$	11 483.6	10 817.6	8 536.2	10 594.2	10 735.0	
极差 <sub>DD</sub>	2 675.0	1 215.6	3 298.6	729.0	1 302.4	
主次因素	II	IV	I	V	III	
最佳水平	12.5	85	1:8.5	3	0.17	

热碱-EDTA 耦合法破解污泥的正交实验极差分析表明，破解效果影响因素的主次顺序为固液比>pH>EDTA 投加量>温度>反应时间。确定最佳条件：固液比为 1:8.5、pH 为 12.5、EDTA 投加量为 0.017(以 1 g 湿污泥计)、反应温度为 85 ℃、反应时间为 3 h。实验编号为 11 的最佳组合中，破解后 SCOD 可达到 14 400.0 mg·L<sup>-1</sup>。

## 2.2 热碱-EDTA 耦合法处理效果分析

在正交实验所得的最佳破解条件下，热碱法、热碱-EDTA 耦合法和单独 EDTA 法的 3 组破解实验同时进行检测分析，以全面考察 EDTA 的加入对热碱破解污泥效果的影响，测定了 SCOD、TN、TP、多糖、蛋白质、VS 共 6 项指标随时间变化的关系，结果如图 1 所示。EDTA 会对上清液中 SCOD 和 TN 做出一定贡献，SCOD 和 TN 计算时扣除相应空白值。

图 1(a) 为 SCOD 浓度在破解过程中的变化。在热碱法和热碱-EDTA 耦合法 2 组实验中，SCOD 由 875.5 mg·L<sup>-1</sup> 分别增至 12 550.0 mg·L<sup>-1</sup> 和 14 400.0 mg·L<sup>-1</sup>，污泥破解结束，耦合法组的溶出量比热碱法组的高 14.7%。单一 EDTA 对照组(在常温下反应)的 SCOD 在 875.5 mg·L<sup>-1</sup> 基础上增加幅度很小。在反应 90 min 之前，耦合法组 SCOD 的溶出量小于热碱法组；120 min 之后，2 组 SCOD 溶出量均显著增加，但相比耦合法组增加更为明显；150 min 之后耦合法组增加幅度减缓。

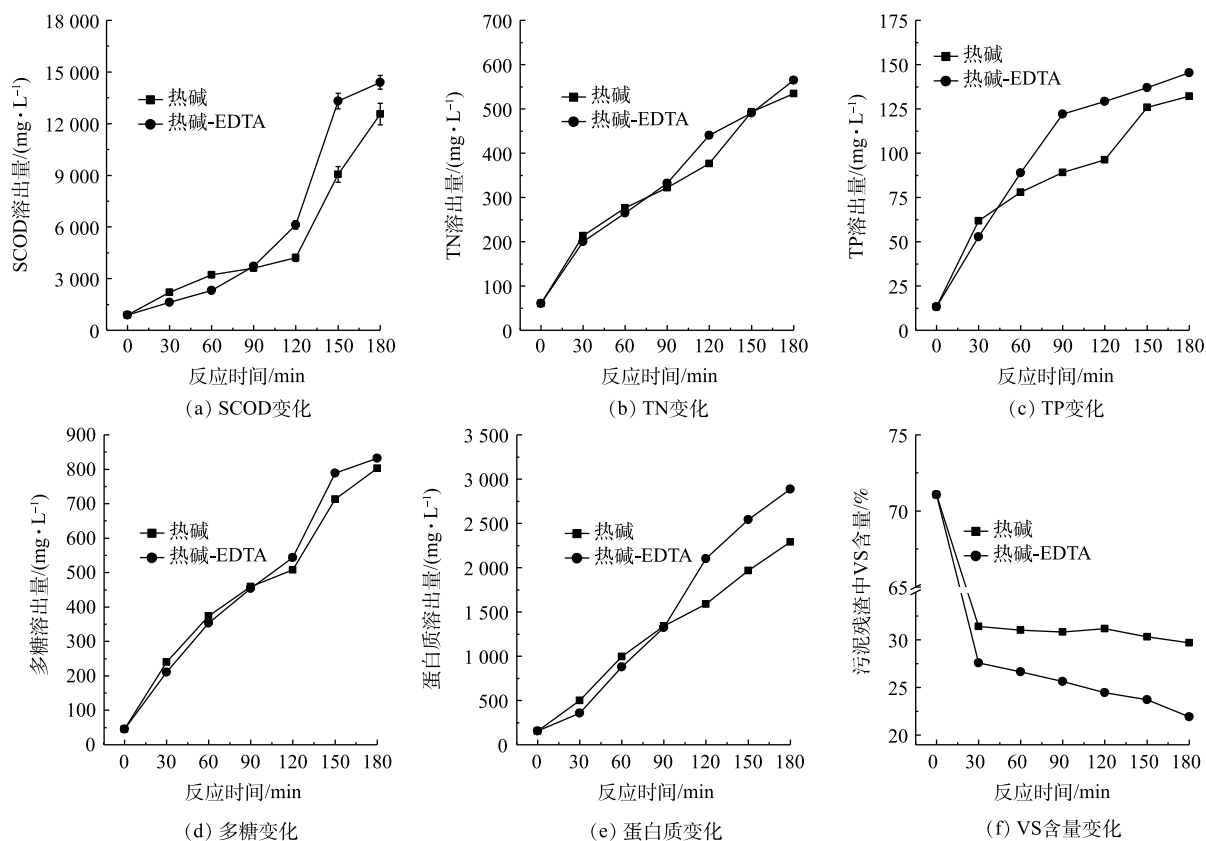


图1 热碱-EDTA 耦合法处理污泥中各指标的变化

Fig. 1 Variation of indicators of thermal alkali-EDTA coupling treated sludge

这表示在 120 min 之后, 2 组实验中发生了大量污泥细胞破裂, 胞内有机物的溶出致使 SCOD 迅速增高, 耦合法实验组中 SCOD 值响应更迅速。以上实验结果说明, EDTA 可以缩短中低温条件下热碱破解的时间, 进而提高有机物的溶出率。

图 1(b) 和图 1(c) 分别为 TN 和 TP 溶出量随时间的变化。热碱法组和耦合法组 TN 分别由初始的  $60.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增至污泥破解结束时的  $534.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $564.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 耦合法组 TN 溶出量比热碱法组高 5.6%, 2 组的 TN 变化基本均在同步增加。耦合法和热碱法组的 TP 分别由初始的  $13.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增至污泥破解结束的  $132.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $145.28 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 耦合法组 TP 溶出量比热碱法组高 9.9%。90 min 之前, 耦合法组 TP 增加大于热碱法组, 90 min 之后, TP 增加速度减缓, 而热碱法组在 30~120 min 的增加速度相对缓和。这说明 EDTA 的加入促使 TP 溶出效果更加明显, 这和 ZOU 等<sup>[13]</sup> 的研究结论相一致。

图 1(d) 和图 1(e) 分别为多糖和蛋白质溶出量的变化。热碱法组和耦合法组多糖分别由初始的  $45.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增至污泥破解结束的  $803.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $832.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 耦合法组多糖溶出量比热碱法组高 3.6%, 2 组中的多糖变化趋势和 TN 变化趋势相似, 基本均在同步增加。热碱法组和耦合法组中的蛋白质分别由初始的  $156.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增至污泥破解结束的  $2291.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $2884.46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 耦合法组蛋白质溶出量比热碱法组高 25.9%。蛋白质的变化趋势和 SCOD 变化趋势相似, 90 min 之前, 耦合法组蛋白质溶出量小于热碱法组, 90 min 之后, 耦合法组蛋白质浓度的增长速度加快, 超过了热碱法组。这说明 EDTA 加入有助于污泥破解, 进而提高了有机物的溶出量, 蛋白质贡献更占优势。

图 1(f) 为污泥残渣中 VS 含量在破解过程中的变化。热碱法组和耦合法组由初始 51.06% 分别下降至 29.68% 和 21.93%, 处理效果好于 LI 等<sup>[18]</sup> 用超声处理方式的效果 (24.70%)。在反应初期, VS 含量显著下降, 这是由于污泥大絮体在搅拌的物理作用下被打散的缘故, 一部分有机物迅

速转移到液相中<sup>[19]</sup>。

### 2.3 污泥破解后粒径变化和溶解性有机物分子质量分析

污泥破解后，污泥絮体及污泥微生物细胞结构被破坏，絮体粒径也相应减小<sup>[20]</sup>，图 2 为不同破解方法下污泥粒径分布情况。破解后，污泥粒径的峰型均变矮，分布变宽，但由于 EDTA 的作用，热碱-EDTA 耦合法对应的峰型稍陡，这说明破解后 EDTA 有使粒径分布变窄的效果。污泥粒径的峰值响应分别为：原始污泥 135.995  $\mu\text{m}$ 、热碱破解后 30.177  $\mu\text{m}$ 、热碱-EDTA 耦合法破解后 29.350  $\mu\text{m}$ 。其中，热碱-EDTA 耦合法对应的值小于热碱法。这表明在本研究条件下，热碱-EDTA 耦合法的破解效果显著好于热碱破解法。

破解后，对破解液中的 DOM 分子质量分布情况进行了考察，以评估破解后溶出有机物的水解情况。采用条分法对 GPC 谱图进行分级处理，并对每级进行积分运算，得到 DOM 的离散型分子质量分布如图 3 所示。由图 3 可见，破解后，分子质量在 <200 Da 和 200~400 Da 两级处，热碱-EDTA 耦合法所占比例大于热碱法，当 DOM 分子质量在 400 Da 以上时，热碱-EDTA 耦合法的 DOM 分子质量相应分布比例均小于热碱破解法。其中，当 DOM 分子质量 <400 Da 时，热碱-EDTA 耦合法分子质量占比为 40.68%，大于热碱破解的 32.34%。这说明热碱-EDTA 耦合法破解后，DOM 的分子质量分布偏小，DOM 更容易发生水解。

### 2.4 污泥破解后的微观变化

原污泥和破解污泥的扫描电镜照片如图 4 所示。由图 4(a) 可以看出，未经破解的原污泥表面

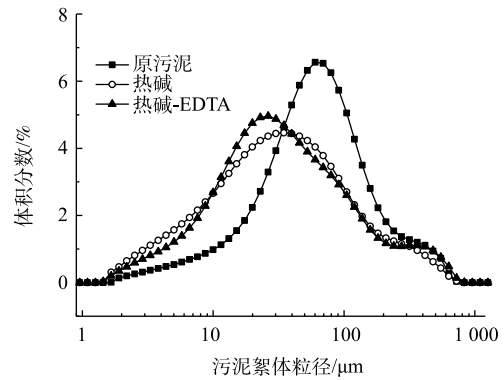


图 2 不同破解方法下污泥粒径变化情况  
Fig. 2 Variation of sludge particle size under different disintegration methods

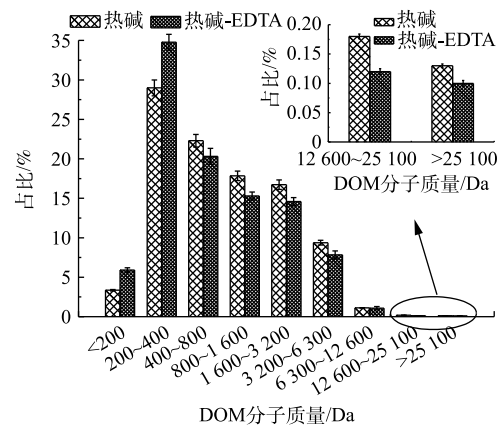
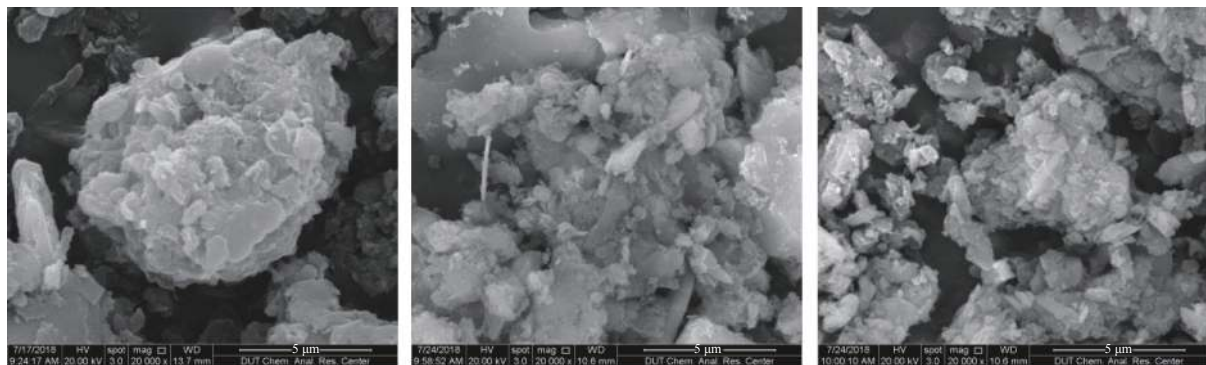


图 3 破解结束破解液中 DOM 的分子质量分布情况  
Fig. 3 Molecular distribution of DOM in disintegration solution



(a) 原初始污泥絮体 (b) 热碱法破解后污泥固体物 (c) 热碱-EDTA耦合法破解后污泥固体物

图 4 污泥固体物微观形貌

Fig. 4 Microscopic morphology of sludge solids

紧密严实,完整性较好,呈现大块状。由图4(b)可以看出,经过热碱破解后的污泥残渣成小块黏结在一起,分散性较差。由图4(c)可以看出,经热碱-EDTA耦合法破解后,污泥在形态上变化明显,污泥残渣为比较松散的小块状,这说明热碱-EDTA耦合法对污泥的破解效果更为显著,与污泥的SCOD、蛋白质质量浓度、粒径变化规律及DOM分子质量分布结果一致。

### 3 结论

1) 热碱-EDTA耦合法破解污泥的最优条件:固液比为1:8.5、pH为12.5、EDTA投加量为0.017(1 g湿污泥计)、反应温度为85℃、反应时间为3 h。在最优破解条件下,综合性指标SCOD的检测结果表明,投加EDTA可以缩短中低温条件下热碱破解的时间,提高有机物溶出率。

2) SCOD、TN、TP、多糖和蛋白质溶出量及破解结束污泥残渣中VS含量测定结果表明,热碱-EDTA耦合法强化了污泥破解效果。DOM分子质量分布结果证明,热碱-EDTA耦合法破解后,破解液中小于400 Da的小分子物质占比(40.68%)大于热碱法破解中对应的占比(32.34%),这说明热碱-EDTA耦合法破解后DOM更容易水解。

3) 污泥絮体粒径测定和絮体形貌SEM观察结果表明,热碱-EDTA耦合法破解后,污泥固体分散性优于热碱破解,粒径分布峰值响应小于热碱破解。热碱-EDTA耦合法对污泥的破解效果优于热碱法,从而对污泥破解起到了强化作用。

### 参 考 文 献

- [1] 王文中. 石家庄市工业污泥防治研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2014.
- [2] 江云, 朱曙光, 欧阳匡中, 等. 超声破解对剩余污泥内含营养物质及粒径的影响[J]. 环境工程学报, 2018, 12(5): 31-37.
- [3] XIE Y H, LU Y, LIU C Q, et al. Impact of early treatment of sludge on measurement of its total sugar[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(4): 156-160.
- [4] LI C X, ZHANG G Y, ZHANG Z K, et al. Alkaline thermal pretreatment at mild temperatures for biogas production from anaerobic digestion of antibiotic mycelial residue[J]. Bioresource Technology, 2016, 20: 49-57.
- [5] ZHONG W Z, LI G X, GAO Y, et al. Enhanced biogas production from penicillin bacterial residue by thermal-alkaline pretreatment[J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2015, 29(3): 522-529.
- [6] 李洋洋, 金宜英, 李欢, 等. 碱热联合破解污泥效果及动力学研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(9): 1230-1234.
- [7] DEMIR O. Performance of thermophilic anaerobic sludge digester after alkaline-assisted thermal disintegration optimization using response surface methodology[J]. Water and Environment Journal, 2018, 32(4): 597-606.
- [8] DENG Q H, HUANG Y Z, XIAN P, et al. Optimization of thermo-alkaline pretreatment on municipal sludge and enhanced subsequent anaerobic digestion[J]. Desalination and Water Treatment, 2019, 148: 88-94.
- [9] 徐慧敏, 秦卫华, 何国富, 等. 超声联合热碱技术促进剩余污泥破解的参数优化[J]. 中国环境科学, 2017, 37(9): 3431-3436.
- [10] 徐慧敏, 秦卫华, 李中林, 等. 超声联合热碱破解高含固污泥的理化性质变化[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(5): 469-473.
- [11] BOURVEN I, COSTA G, GUIBAUD G. Qualitative characterization of the protein fraction of exopolymeric substances (EPS) extracted with EDTA from sludge[J]. Bioresource Technology, 2012, 104: 486-496.
- [12] KAVITHA S, KUMAR S A, YOGALAKSHMI K N, et al. Effect of enzyme secreting bacterial pretreatment on enhancement of aerobic digestion potential of waste activated sludge interceded through EDTA[J]. Bioresource Technology, 2013, 150: 210-219.
- [13] ZOU J T, ZHANG L L, WANG L, et al. Enhancing phosphorus release from waste activated sludge containing ferric or

- aluminum phosphates by EDTA addition during anaerobic fermentation process[J]. *Chemosphere*, 2017, 171: 601-608.
- [14] NGUYEN M T, YASIN N H M, MIYAAKI T, et al. Enhancement of sludge reduction and methane production by removing extracellular polymeric substances from waste activated sludge[J]. *Chemosphere*, 2014, 117: 552-558.
- [15] 肖倩, 杨垒, 任勇翔, 等. 硝化污泥胞外聚合物分层组分提取方法的比较[J]. *环境科学学报*, 2018, 38(8): 3045-3053.
- [16] 罗毅, 李晓丽, 刘晖, 等. 超声波、碱、超声波/碱预处理污泥对污泥水解效果的影响[J]. *河北工业科技*, 2015, 32(6): 552-556.
- [17] 李海玲, 李冬, 张杰, 等. 调控温度和沉降时间实现ANAMMOX颗粒快速启动及其稳定运行[J]. *环境科学*, 2019, 40(2): 837-844.
- [18] LI X J, ZHU T, ZHANG K, et al. Enhanced sludge degradation process using a microbial electrolysis cell in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor with ultrasound treatment[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 306: 17-21.
- [19] GAYATHRI T, KAVITHA S, KUMAR S A, et al. Effect of citric acid induced deflocculation on the ultrasonic pretreatment efficiency of dairy waste activated sludge[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015, 22: 333-340.
- [20] 艾乐仙, 邓风, 胡潇鹏, 等. 超声波-高锰酸钾耦合工艺对污泥破解效果的研究[J]. *现代化工*, 2019, 39(3): 171-175.

(本文编辑: 金曙光, 曲娜, 郑晓梅)

## Strengthening sludge disintegration by thermal alkali-EDTA coupling method and its effect analysis

LIU Bowen, JIN Ruofei\*, LAN Bingbing, LIU Guangfei, ZHOU Jiti

Key Laboratory of Industrial Ecology and Environmental Engineering, Ministry of Education, School of Environmental Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

\*Corresponding author, E-mail: jin\_ruofei@163.com

**Abstract** The thermal alkali-EDTA coupling method was used to further disintegrate the sludge, in order to reduce the consumption of alkali and heat energy. The orthogonal test of  $L_{16}(4^5)$  was designed with five factors e.g., pH, temperature, solid-liquid ratio, reaction time and EDTA dosage, which affected the sludge disintegration effect. Under the optimized sludge disintegration conditions, the effects of the sludge disintegration were compared between the thermal alkali and the thermal alkali-EDTA coupling methods. The results showed that compared with the thermal alkali disintegration treatment, the release amounts of SCOD, TN, TP, polysaccharide and protein from thermal alkali-EDTA coupling disintegrated sludge increased by 14.7%, 5.6%, 9.9%, 3.6% and 25.9%, respectively. The thermal alkali-EDTA coupling disintegration led to less VS content in the residual sludge than that by the thermal alkali disintegration (21.93% versus 29.68%). Besides, the proportion of small molecule (<400 Da) in the lysate by the thermal alkali-EDTA coupling disintegration was higher than that by the thermal alkali disintegration (40.68% versus 32.34%). Sludge floc size measurement and SEM observation demonstrated that thermal alkali-EDTA coupling disintegrated sludge had smaller response value in sludge particle size distribution and better flocs dispersion than the thermal alkali disintegration. The above results indicated that the thermal alkali-EDTA coupling method can improve the dissolution rate and the hydrolysis property of organic matter under the medium and low temperature conditions, and further reduce the relative VS content in sludge residue. Obviously, the thermal alkali-EDTA coupling method can strengthen the sludge disintegration effect compared with the thermal alkali method and show a promising prospect.

**Keywords** sludge disintegration; thermal-alkali; ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA); lysate; dissolved organic matter (DOM)