

十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠耦合 污泥脱水技术研究*

甄广印¹ 周海燕² 宋玉³ 苏冬云² 柴晓利¹ 牛冬杰¹ 赵由才^{1**}

(1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海, 200092; 2. 上海老港废弃物处置有限公司, 上海, 201302;
3. 上海同济建设有限公司, 上海, 200092)

摘要 研究了十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠(NaOH)耦合预处理对污泥特性的影响,分析了不同预处理条件下污泥溶解性化学需氧量(SCOD)、挥发性悬浮物(VSS)、总悬浮物(TSS)和有机酸溶出率随时间的变化规律,并进一步探讨了其对污泥脱水性能的影响。结果表明,SDBS-NaOH耦合作用时能有效地加速VSS和TSS的溶解,提高污泥水解相SCOD的浓度,当SDBS和NaOH的投加量分别为 $0.02 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 污泥(污泥干基,下同)和 $0.1 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 污泥时,VSS溶解效率高达64.0%,此时TSS含量最低,仅为 $23.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$;另外,当SDBS和NaOH添加量分别为 0.02 和 $0.25 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,污泥的脱水性能良好,脱水后污泥的含水率可降到72%左右,而未预处理的污泥其含水率高达84%。

关键词 细胞破碎 污泥 脱水

城市污水处理过程中产生大量的剩余污泥,其含水率常高达95%—99%^[1]。因此,在最终处置之前必须对污泥进行脱水预处理,以减少污泥体积、降低运输费用,同时脱水污泥也易于后续处理^[2]。

近年来为寻找经济高效的污泥脱水技术,研究人员进行了大量的研究工作。Feng Xin等^[2]在超声预处理改善污泥脱水性能的研究中发现,低能超声波($<4400 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ TS)能轻微改善污泥的脱水性能,超声波能量在高于 $4400 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ TS时污泥的脱水性能受到严重影响,而在 $800 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ TS时污泥的脱水性能最好。Watanabe Y等^[3]研究发现金属化合物混凝剂和高分子絮凝剂耦合用于污泥脱水时,脱水效率较传统的高2%—5%,这主要归因于金属离子的电中和和高分子絮凝剂的架桥卷扫共同作用的结果。Lee C H等^[4]研究表明,由两种高分子絮凝剂共同调理的污泥较单一絮凝剂调理后的污泥脱水性能更好,且药剂用量较少。另外,近年来有关研究^[5]将芬顿试剂用于改善污泥的脱水性能,可获得含水率为75.2%的脱水泥饼,但因其经济效益较差,而未能得到推广。其中,高分子絮凝剂以其经济高效的独特优势而被广泛应用于污泥的脱水预处理中^[2]。

尽管不同的预处理方法都能一定程度上改善污泥的脱水性能,但效果并非理想。原因在于一般的物理调理和机械脱水方法都难以去除污泥中的间隙水和结合水。因此,有必要深入研究各种细胞破碎技术和有机物溶出技术^[6],以便污泥间隙水和细胞内部结合水的释放。目前,有关碱^[6-8]和十二烷基苯磺酸钠^[9]等在细胞破碎和有机物溶出方面的预处理研究为污泥深度脱水提供了一定的理论基础。

本文研究旨在研究十二烷基苯磺酸钠和NaOH耦合作用对污泥细胞破坏、有机物溶出以及污泥脱水性能改善的影响,为进一步寻找污泥高效脱水剂提供理论基础。

1 材料与方 法

实验所用污泥取自上海老港卫生填埋场原生污泥处置车间(主要来自污水处理厂的脱水污泥);为使污泥更加均质,在预处理之前应剔除污泥中各类大型纤维杂质和大小碎石块等无机杂质,调节含水率(95%)后并在果汁搅拌机上高速打碎1 min。

2009年12月28日收稿。

* 上海市科委2008重点项目(No.08DZ1202802);上海市科委2009年重大项目(No.09DZ1204105)。

** 通讯联系人, E-mail: zhaoyoucai@tongji.edu.cn

将调节好的污泥中投加一定剂量的十二烷基苯磺酸钠(SDBS)和碱(NaOH)进行预处理,SDBS添加剂量均为 $0.02\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ DS}^{[9]}$,NaOH的投加量(以NaOH/DS质量比计,下同)分别为0、0.10、0.25、0.75、1.00,其中NaOH/DS质量比为0的试样为空白样.调节均质后放于 37°C 的恒温箱,并于恒温预处理的第1、5、8、18小时及第55小时取样检测.

预处理后定期取样对相应指标进行检测.pH值采用620精密pH计(上海雷磁仪器厂)测定;含水率、TSS、VS采用重量法测定;SCOD为离心机(转速为 $10000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)离心10 min后上清液的COD值($0.45\text{ }\mu\text{m}$ 膜过滤后测定^[7]);TCOD为被处理污泥混合液的COD值;COD采用重铬酸钾法测定;VFA采用6890N气相色谱仪测定^[9].

2 结果与讨论

十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠耦合作用于污泥时,可以有效地破坏污泥的絮凝结构和微生物的细胞结构,水解蛋白质及核酸,分解菌体中的糖类,使污泥微生物细胞中原来不溶性的有机物从胞内释放出来,成为溶解性物质,从而提高污泥液相中的溶解性有机物的含量^[10],有效地改善污泥脱水性能.

2.1 预处理污泥的溶解性COD变化规律

溶解性COD(SCOD)溶出量的多少可以表征污泥热碱水解效果的优劣^[8,11].由图1可以看出,在十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠耦合作用下,在相同剂量SDBS条件下,添加NaOH后SCOD溶出率在在一定程度上有所增加,且在NaOH/DS为0.25时的溶出效率最高,这主要归因于NaOH破坏微生物细胞结构,使污泥微生物细胞中的有机物释放出来^[7,11].而不同预处理条件下SCOD的溶出率整体随时间变化并不明显,在起初的10 h之内空白样和DS 0.25倍的NaOH预处理时SCOD均先升高后降低,但此后随时间的增加SCOD基本保持不变,液相中SCOD含量的降低可能是由于少数未被杀死的微生物活动的消耗所致;高NaOH/DS质量比条件下,SCOD溶出率在开始的20 h之内虽有轻微的升高,总体上SCOD的溶出率较空白样高出约11倍,但在接下来的40 h的时间之内没有明显增加.因此,十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠耦合作用可在较短时间内破坏污泥絮体结构和微生物细胞壁.

2.2 预处理污泥的固体物质溶解规律

2.2.1 VSS溶解规律

VSS主要由细菌、真菌、原生及后生动物组成,还包括部分颗粒状蛋白质、粗纤维等,一般占污泥有机物的95%以上^[12].因此,在十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠耦合作用下VSS中的有机成分会发生不同程度的水解,从而改变污泥量及其结构性质.

从图2中可以看出,不同的预处理条件对VSS的溶解效果有很大的差异.SDBS和NaOH耦合用于污泥脱水预处理时,其在一定程度上有利于污泥VSS的溶解,但其溶解性并非随耦合剂投加量的增大而增大.

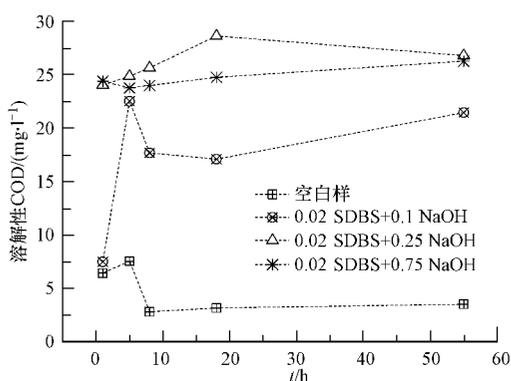


图1 不同预处理条件污泥SCOD的变化规律

Fig. 1 Effects of various pretreatment processes on SCOD concentration

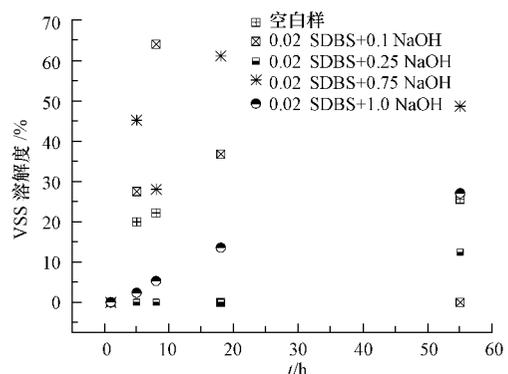


图2 不同预处理条件下VSS的变化规律

Fig. 2 Effects of various pretreatment processes on VSS concentration

由图 2 可知,在 SDBS 投加量为 $0.02\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,NaOH 的最佳投加量为 $0.1\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,此时 VSS 的溶解度于第 10 小时即可达到最大 (64.0%);而随 NaOH 投加量的持续增加,VSS 的溶解性反而受到抑制.这可能是由于 VSS 需要在合适的碱性条件下才会有较高的溶解效率,pH 过高或过低都会对其溶解产生不利的影响.

2.2.2 TSS 溶解规律

由图 3 中可以看出,在最初一段时间里,不同预处理条件下 TSS 含量均有一定程度的减少且含量下降较快,随后又一定幅度的增加.其中以 $0.02\text{ SDBS} + 0.1\text{ NaOH}$ 的预处理条件下 TSS 的溶解效果最好,且在 10 h 时,TSS 的溶解效率达到最高,含量最低,仅为 $23.2\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

2.3 预处理污泥含水率的变化规律

污泥含水率变化受预处理条件变化的影响很大.由图 4 可知,未经任何预处理的污泥水样的脱水性能很差,最小含水率在 84% 左右;而经 SDBS 和 NaOH 耦合预处理的污泥脱水性能有了很大的提高,且不同预处理条件下的污泥脱水性能随时间的增加而得到明显改善,在 55 h 时,离心脱水污泥的含水率降到 72% 左右.这说明 SDBS 和 NaOH 耦合预处理能改变污泥胶体特性,高效破坏污泥微生物细胞,从而加速细胞内有机物和部分结合水溶出,大幅改善污泥的脱水性能.

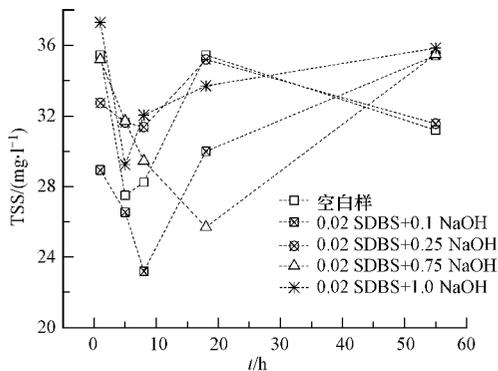


图 3 不同预处理条件下 TSS 的变化规律

Fig. 3 Effects of various pretreatment processes on TSS concentration

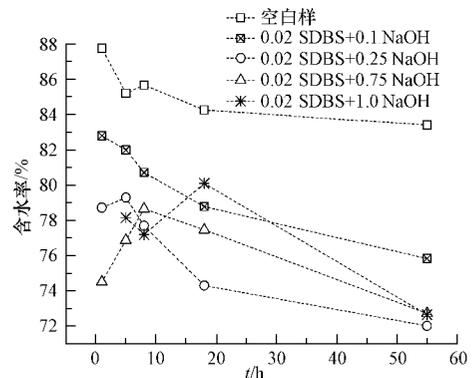


图 4 不同预处理条件对脱水污泥饼含水率的影响

Fig. 4 Effects of various pretreatment processes on the dewaterability of sludge

2.4 有机酸变化规律

污泥的固体有机物在十二烷基苯磺酸钠(SDBS)-氢氧化钠耦合作用过程中不断溶解出溶解性有机物,因此污泥水解液中常含有丰富的乙酸、丙酸、异丁酸等挥发性脂肪酸.表 1 列出了不同预处理条件下的液相水解液中有有机酸的含量.

污泥水解液中有有机酸浓度的高低直接反映了有机物的水解程度^[8,12].由表 1 可知,水解液中的有机酸的含量在不同的预处理条件下基本上随时间有所增加,但趋势并不明显,这表明延长处理时间并不能有效提高液相中挥发酸的浓度.随着 SDBS 和 NaOH 剂量的增加液相中有有机酸的浓度有很大的提高,空白样的液相中只能检测出乙酸和异丁酸,且含量较少,而在 SDBS 和 NaOH 耦合作用下,水解液中有有机酸的种类和浓度都有大幅度的提高;但在 NaOH/DS 为 1.0 时水解液中的有机酸浓度有所下降,这可能是由于高碱量的加入,体系中产生的极端碱度抑制了有机酸的生成^[8].但是在所有的预处理条件下,乙酸都占了主要组分,原因在于污泥有机质中主要组成成分是蛋白质^[8].

由此可见,合适剂量的 SDBS 与 NaOH 耦合作用对污泥微生物细胞中有有机酸的溶出具有正向作用,但过长的预处理时间对污泥有机酸溶出率的影响并不大.

2.5 经济指标分析

脱水剂的价格和投加量与污泥处理费用密切相关,将本研究结论与传统常用的絮凝剂进行经济分析(污泥含水率 95%),结果如表 2 所示.

尽管 SDBS-NaOH 投加量较传统工艺有所增加(表 2),导致一定量的强碱性废水和强碱性脱水污泥产生,为后续处理带来了一定程度的困难,但其在最佳投加量时每吨干污泥的处理费用仅为 36.6 元,而

其它传统处理方法均在 70 元以上. 因此 SDBS-NaOH 耦合作为污泥脱水剂具有较高的经济性和实用性.

表 1 不同预处理条件下水解液中有机酸的分布

Table 1 Distribution of VFAs in liquor sludge with various pretreatment processes

预处理条件	时间/h	乙酸 /($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	丙酸 /($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	异丁酸 /($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	正丁酸 /($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	异戊酸 /($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	正戊酸 /($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
空白样(0.02 SDBS)	1						
	5	26.21	—	14.24	—	—	—
	8	31.21	—	16.37	—	—	—
	18	6.97	—	18.97	—	—	—
	55	9.38	—	23.41	—	—	—
0.02 SDBS + 0.25 NaOH	1	321.23	156.81	93.75	166.49	142.29	74.35
	5	342.15	160.82	94.36	170.33	144.81	77.06
	8	338.15	157.15	94.01	168.42	143.90	76.06
	18	349.40	157.90	93.40	167.72	142.24	74.84
	55	371.01	161.49	95.95	171.25	145.55	77.30
0.02 SDBS + 0.75 NaOH	1	388.04	180.85	111.35	190.76	163.82	93.92
	5	396.72	170.30	105.70	180.29	155.25	89.45
	8	393.08	170.02	104.30	180.31	153.90	87.80
	18	388.38	164.76	102.72	172.68	147.24	84.25
	55	436.72	170.74	105.32	179.00	154.29	88.00
0.02 SDBS + 1.0 NaOH	1	297.886	366.38	804.54	136.28	114.91	68.19
	5	387.08	157.69	136.77	171.95	147.53	86.61
	8	358.62	160.54	105.49	166.59	148.87	76.55
	18	378.85	161.64	101.35	170.35	147.72	84.23
	55	425.25	160.57	99.78	168.27	144.82	82.24

表 2 经济分析结果

Table 2 Economic analysis

脱水剂	单价/(元 $\cdot\text{t}^{-1}$)	最佳投加量/($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$)	处理 1 吨干污泥费用/元
SDBS-NaOH	2250 (NaOH)	12.5 (NaOH)	36.6
	17000 (SDBS)	0.5 (SDBS)	
PFS ^[1]	1800	40.8	74.3
PAM ^[1]	40000	2.45	98
丙烯酸钠-丙烯酸酰胺共聚物 ^[1]	60000	2.04	122.4

3 结论

(1) NaOH 预处理对剩余污泥具有较好的溶胞和减量化作用. NaOH 的添加有助于 SCOD 的提高, 当 NaOH/DS 在 0.25—0.75 时, SCOD 的溶出率较空白样高出 11 倍左右; 另外, NaOH 对 VSS 亦有较强的溶解力, 但并非随 NaOH 添加量的增加而增加, 当 SDBS 和 NaOH 的添加量分别为 0.02 和 0.1 时, VSS 的溶解效果最好, 此时对 TSS 也有较佳的溶解能力.

(2) 随着 SDBS 和 NaOH 剂量的增加液相中有机酸的浓度有很大的提高, 且在不同预处理条件下, 乙酸均为有机酸的主要组分, 这可能归因于在 SDBS 和 NaOH 共同作用下污泥的絮体结构受到破坏, 使原来被细胞壁包围的部分物质以有机酸等可溶性有机物的形式释放出来所致.

(3) SDBS 和 NaOH 耦合预处理改变了污泥胶体表面特性, 高效破坏污泥微生物细胞, 加速细胞内有机物和部分结合水的溶出, 使污泥的脱水性能得到有效改善. 当 SDBS 和 NaOH 添加量分别为 0.02 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 0.25 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 经过 55 h 的脱水预处理, 可以获得含水率为 72% 左右的脱水泥饼.

参 考 文 献

- [1] 高健磊, 闫怡新, 吴建平, 等. 城市污水处理厂污泥脱水性能研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 108-111
- [2] Feng Xin, Deng Jinchuan, Lei Hengyi, et al. Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning [J]. Bioresource Technology, 2009, 100: 1074-1081
- [3] Watanabe Y, Kubo K, Sato S. Application of amphoteric polyelectrolytes for sludge dewatering [J]. Langmuir, 1999, 15: 4157-4164
- [4] Lee C H, Liu J C. Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning [J]. Advances in Environmental Research, 2001, 5: 129-136
- [5] Lu Ming Chun, Lin Chien Jung, et al. Dewatering of activated sludge by fenton's reagent [J]. Advances in Environmental Research, 2003, 7: 667-670
- [6] 盛宇星, 曹宏斌, 李玉平等. 预处理对废弃活性污泥中细胞破碎和有机物质溶出的影响[J]. 化工学报, 2008, 59(6): 1496-1501
- [7] 杨虹, 王芬, 季民, 等. 超声与碱耦合作用破解剩余污泥的效能分析[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(5): 78-81
- [8] 何玉凤, 杨凤林, 胡绍伟, 等. 碱处理促进剩余污泥高温水解的试验研究[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2260-2265
- [9] Zhang Peng, Chen Yinguang, Huang Tianyin, et al. Waste activated sludge hydrolysis and short-chain fatty acids accumulation in the presence of SDBS in semi-continuous flow reactors: Effect of solids retention time and temperature [J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 148: 348-353
- [10] 杨艳, 冯晓西. 碱性环境中臭氧破解污泥的效果研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(8): 101-103
- [11] 周群英, 高廷耀. 环境工程微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 26-29
- [12] 王治军, 王伟. 剩余污泥的热水解试验[J]. 中国环境科学, 2005, 25(Suppl.): 56-60

INFLUENCE OF COMBINATION SODIUM DODECYL BENZENE SULFONATE (SDBS) AND AKALINE PRETREATMENT ON SLUDGE DEWATERABILITY

ZHEN Guangyin¹ ZHOU Haiyan² SONG Yu³ SU Dongyun² CAI Xiaoli¹
 NIU Dongjie¹ ZHAO Youcai¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai, 200092, China;

2. Shanghai Laogang Waste Treatment Co., Ltd, Shanghai, 201302, China;

3. Shanghai Tongji Construction Co., Ltd, Shanghai, 200092, China)

ABSTRACT

The influence of combination sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) and alkaline (NaOH) in sludge pretreatment on sludge dewaterability was inspected, and through the changes of soluble chemical oxygen demand (SCOD), volatile suspended solid (VSS), total suspended solid (TSS) and volatile fatty acids (VFAs), the related mechanism was explored. It was found that the combination of SDBS and NaOH accelerated the solubilization of VSS and TSS, led in the dramatic increase in SCOD and VFAs in liquor. When the addition of SDBS and NaOH were $0.02\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ sludge (dry basis) and $0.1\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively, the 64.0% of VSS dissolved with the lowest TSS concentration of $23.2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ in liquor. Furthermore, it should be pointed out that when the addition were $0.02\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ and $0.25\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for SDBS and NaOH, respectively, the moisture content of dewatered sludge could reduce to approximately 72%, however corresponding 84% for unconditioned sludge.

Keywords: cell disruption, sewage sludge, dewaterability.