

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.23.005

负荷对高盐污泥氧化硫硫杆菌调理系统脱水效能的影响

卓星星, 尹兴新, 石烁辉, 何磊, 陈博, 周健
(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 针对高盐废水生物处理产生的剩余污泥脱水性能差的问题,构建高盐污泥氧化硫硫杆菌调理系统,并研究负荷对系统深度脱水效能的影响。结果表明,在负荷分别为0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d)时,反应器内污泥的pH值由调理前的3.86下降至调理后的1.46、1.99、2.38;泥饼的含水率由70.1%降至60.3%、61.8%、64.3%,污泥结合水含量从8.41 g/gDS降至1.21、1.28、1.34 g/gDS;胞外聚合物(EPS)含量从93.22 mg/gVSS降至16.35、17.45、19.64 mg/gVSS。负荷对污泥EPS中的LB-EPS含量影响并不显著,但对TB-EPS含量的影响显著。

关键词: 高盐污泥; 氧化硫硫杆菌; 调理; 深度脱水; 胞外聚合物

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)23-0027-04

Effect of Load on Dewatering Efficiency of High Salinity Sludge Conditioning System with *Acidithiobacillus thiooxidans*

ZHUO Xing-xing, YIN Xing-xin, SHI Shuo-hui, HE Lei, CHEN Bo, ZHOU Jian
(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: In view of poor dewatering performance of residual sludge produced by biological treatment of high salinity wastewater, the high salinity sludge conditioning system with *Acidithiobacillus thiooxidans* was constructed, and the effect of load on deep dewatering efficiency of the system was investigated. When the load was 0.5 gMLSS/(L·d), 1.0 gMLSS/(L·d) and 1.5 gMLSS/(L·d), the pH value of the reactor decreased from 3.86 (before conditioning) to 1.46, 1.99 and 2.38, respectively. Water content of the sludge cake decreased from 70.1% to 60.3%, 61.8% and 64.3%. Bound water content of the sludge decreased from 8.41 g/gDS to 1.21 g/gDS, 1.28 g/gDS and 1.34 g/gDS. Extracellular polymeric substance (EPS) content decreased from 93.22 mg/gVSS to 16.35 mg/gVSS, 17.45 mg/gVSS and 19.64 mg/gVSS. The effect of load on LB-EPS content was not significant, but it had a significant effect on content of TB-EPS.

Key words: high salinity sludge; *Acidithiobacillus thiooxidans*; conditioning; deep dewatering; extracellular polymeric substance (EPS)

高盐污泥主要产生于高盐工业废水及海水代用物含量高、易腐败发臭、含大量病原微生物等特点,废水的处理过程中,不仅具有普通市政污泥的有机而且由于盐分的加入,加大了其脱水及后续处理处

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07307-002)
通信作者: 周健 E-mail: zhoujianntt@126.com

置的难度,现有高盐污泥经浓缩和机械脱水后的含水率仍高达70%~80%,不能满足后续污泥处置的要求(高盐污泥脱水后主要进行填埋处置)^[1]。

污泥高效脱水的瓶颈缘于其本身的特性,胞外聚合物(EPS)占活性污泥中总有机物的50%~90%,被认为是生物絮体的主要组成部分^[2];EPS中的多糖、蛋白质和核酸所构成的三维空间结构,具有高度的亲水性^[3-4],减少EPS中包裹的结合水是提高污泥脱水性能的关键。污泥调理技术可使污泥脱水性能得到改善,从而降低脱水后污泥的含水率。由于化学调理中使用的各类絮凝剂进入环境后存在产生二次污染的风险,而物理调理中超声波、微波、冻融等技术存在能耗大、不易控制等问题,近年来,有研究发现利用氧化亚铁硫杆菌及氧化硫硫杆菌,以其氧化还原态硫产酸的特性,可去除剩余污泥中的重金属,还能改善污泥的脱水性能^[5]。为此,笔者以高盐废水生物处理产生的剩余污泥为研究对象,拟通过构建高盐污泥氧化硫硫杆菌生物调理系统,来改善高盐污泥的脱水性能,重点探讨了负荷对氧化硫硫杆菌生物调理系统深度脱水效能的影响及作用机理,以期高盐污泥深度脱水开辟新路径。

1 实验材料与方法

1.1 实验装置

实验装置如图1所示,污泥调理反应器有效容积为2 L,内设搅拌设备,曝气机通过砂头供气,反应器置于恒温箱中控制温度恒定。

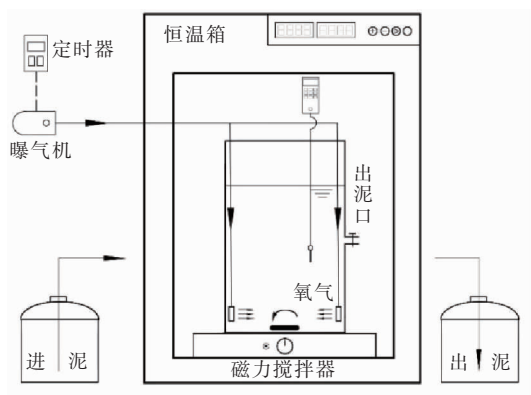


图1 实验装置

Fig.1 Schematics of experimental setup

1.2 实验泥质

实验所用高盐污泥定期取自某榨菜废水处理厂,泥质如下:pH值为7.62,盐度为2.24%,含水率为95.94%,MLSS和MLVSS分别为19.17、11.73 g/

L,结合水为8.41 g/gDS,EPS为93.22 mg/gVSS。

1.3 实验方法

采用平行实验考察负荷对高盐污泥氧化硫硫杆菌调理系统脱水效能的影响。在温度为 $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、DO为 (9 ± 1) mg/L的条件下,以30%的接种比将富集后的氧化硫硫杆菌菌液(pH值约为1.0)接种于待处理污泥中,待微生物系统构建成功并稳定运行后,控制各反应器负荷分别为0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d)。实验期间测定调理污泥的pH值、含水率、结合水、EPS组分。

1.4 测试项目和方法

采用离心超声法^[6]提取污泥中的EPS,蛋白质和多糖是EPS的主要成分,多糖采用蒽酮-硫酸法测定,蛋白质采用修正的Folin-酚法测定;脱水污泥的含水率采用重量法测定;污泥中结合水含量采用HSC-3差示扫描量热仪测定。

2 结果与分析

2.1 高盐污泥氧化硫硫杆菌调理系统的构建

污泥氧化硫硫杆菌调理系统构建过程中pH值以及泥饼含水率和结合水含量的变化见图2。

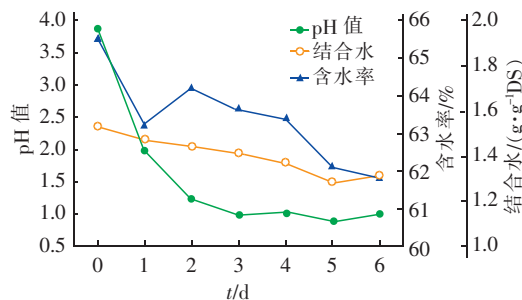


图2 硫杆菌调理系统构建过程中含水率、pH值、结合水的变化

Fig.2 Change of water content, pH and bound water in sludge conditioning system with *Acidithiobacillus thiooxidans*

由图2可知,反应器在启动1 d后,其pH值由最初的3.86降至1.97,并于3 d后保持稳定状态,可以认为氧化硫硫杆菌调理系统构建成功。分析认为,氧化硫硫杆菌作为一种嗜酸性硫杆菌,预酸化可使氧化硫硫杆菌快速生长并在系统中占据主要地位^[7]。接种pH值为1.0的氧化硫硫杆菌菌液后,系统内初始pH值为3.86,氧化硫硫杆菌的生长增殖,产生大量的硫酸,使得反应器内pH值逐步下降,因此,将pH值作为衡量反应器中氧化硫硫杆菌数量及活性的重要指标。反应器从启动到系统构建

成功,泥饼含水率和污泥结合水含量由 65.5%、1.54 g/gDS 分别降低至 63.58%、1.41 g/gDS。

2.2 负荷对调理系统脱水效能的影响

负荷对氧化硫硫杆菌生物调理系统中污泥的 pH 值和含水率的影响如图 3 所示。可知,负荷对调理系统中污泥 pH 值的影响显著,随着污泥负荷的降低,系统 pH 值亦逐渐降低。当负荷分别为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时, pH 值分别由 3.86 下降至 1.46、1.99、2.38。分析认为,由于氧化硫硫杆菌是一种专性好氧的矿质化能自养菌,当负荷较低时,反应器内的氧化硫硫杆菌产生过量的 H_2SO_4 ,促使 pH 值持续下降,最终使得反应器内的 pH 值较低;随着负荷的增加, pH 值呈现递增的趋势,当负荷为 1.5 gMLSS/(L·d) 时,反应器内的氧化硫硫杆菌产生的 H_2SO_4 未能达到中和每日进泥中碱度的需求,使 pH 值持续升高,最终导致反应器的 pH 值相对较高。当负荷为 1.0 gMLSS/(L·d) 时,系统 pH 值可稳定维持在 2.0 左右,处于适宜污泥脱水性能改善的 pH 值范围内^[8]。

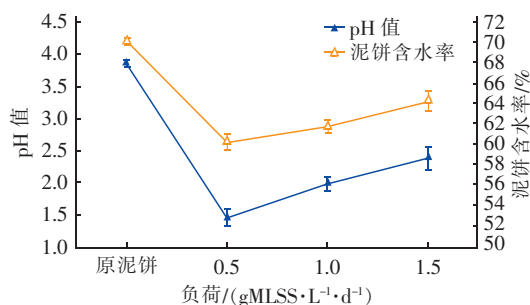


图3 负荷对调理系统污泥 pH 值及泥饼含水率的影响

Fig.3 Effect of load on pH and water content of sludge cake

由图 3 可知,负荷对氧化硫硫杆菌调理后污泥的含水率影响显著。当负荷为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时,泥饼含水率由调理前的 70.1% 降至调理后的 60.3%、61.8%、64.3%,分别降低了 14.0%、11.8%、8.3%,污泥脱水性能得到显著改善,负荷增加使得调理后污泥的含水率逐渐升高。分析认为,负荷对系统调理效能的影响与 pH 值的变化趋势密切相关,氧化硫硫杆菌调理系统的产酸活性一定程度上决定了系统调理效能的优劣。

负荷对氧化硫硫杆菌调理后污泥 EPS 及结合水含量的影响如图 4 所示。可知,高盐污泥经氧化硫硫杆菌调理后,结合水及 EPS 含量较调理前均有

显著降低,而且负荷越低,调理后污泥的 EPS 含量就越低。当负荷为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时,污泥结合水含量从调理前的 8.41 g/gDS 分别降低至 1.21、1.28、1.34 g/gDS;污泥的 EPS 含量从调理前的 93.22 mg/gVSS 分别下降至 16.35、17.45、19.64 mg/gVSS。分析认为,EPS 的高度亲水性是污泥含水率高的主要原因^[9],EPS 中所含的亲水性物质包括大量的亲水基团(如羧基、羟基等),通过减少 EPS 含量,从而间接减少亲水基团的数量,进而提高了高盐污泥的脱水程度;较低的 pH 值有利于溶解高盐污泥中的 EPS,且污泥混合液中存在的 H^+ 可以中和污泥絮体表面的负电荷,促进污泥的絮凝作用,使污泥形成更紧密的絮体以降低其包裹水的能力。通过氧化硫硫杆菌生物调理,使得污泥中部分以结合水形式存在的水变为自由水,从而在脱水过程中被去除,提高了污泥脱水性能。

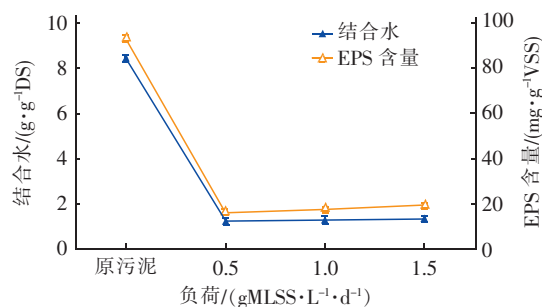


图4 负荷对生物调理系统污泥结合水及 EPS 含量的影响

Fig.4 Effect of load on bound water and EPS contents of sludge

污泥中的 EPS 可以划分为紧密型 EPS (TB - EPS) 和松散型 EPS (LB - EPS),其中,TB - EPS 位于内层,与细胞表面结合较紧,稳定地附着于细胞壁外,具有一定外形;LB - EPS 位于外层,结构相对松散,是可向周围环境扩展、无明显边缘的黏液层^[4]。在本实验中,当负荷为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时,污泥的 TB - EPS 含量分别为 6.23、8.15、9.56 mg/gVSS, LB - EPS 含量分别为 10.12、9.30、10.08 mg/gVSS。可知,随负荷的增加,高盐污泥中 LB - EPS 的含量变化不显著,TB - EPS 的含量则有较大程度的增加。在不同负荷条件下,TB - EPS、LB - EPS 的含量比例也各不相同,当负荷分别为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时,TB - EPS/LB - EPS 分别为 0.62、0.88、0.95。分析认为,在氧化硫硫杆菌对高盐污泥进行生物调理的过程中,负荷较低时调

理系统的 pH 值较低,其强酸性条件有利于对 TB 层 EPS 进行较为彻底的溶解和剥离,溶解后的 TB 层首先转化成 LB-EPS,然后,再进一步溶解在污泥混合液中,实现 EPS 的最终减量。在这一转化过程中,TB-EPS 实现自身含量的降低,而 LB-EPS 则始终处于较为稳定的动态平衡中,其含量变化幅度较 TB-EPS 小。因此,随着负荷的增大,TB-EPS/LB-EPS 值也不断增大。

3 结论

① 负荷对高盐污泥氧化硫硫杆菌生物调理系统的影响显著,当负荷分别为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时,污泥的 pH 值分别由调理前的 3.86 下降至调理后的 1.46、1.99、2.38;泥饼含水率由 70.1% 降至 60.3%、61.8%、64.3%,分别降低了 14.0%、11.8%、8.3%,污泥脱水性能得到显著改善。

② 负荷对高盐污泥氧化硫硫杆菌生物调理系统中污泥 EPS 及结合水含量的影响显著,高盐污泥经氧化硫硫杆菌调理后,其结合水和 EPS 含量较调理前均显著降低。当负荷为 0.5、1.0、1.5 gMLSS/(L·d) 时,污泥结合水含量从调理前的 8.41 g/gDS 分别降低至 1.21、1.28、1.34 g/gDS, EPS 含量从调理前的 93.22 mg/gVSS 分别降低至 16.35、17.45、19.64 mg/gVSS。负荷对污泥 EPS 中的 LB-EPS 含量影响并不显著,但对 TB-EPS 含量影响显著。

参考文献:

- [1] 柴朝晖,杨国录,刘林双,等. 污泥机械脱水前处理方法研究进展[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(5): 157-161.
Chai Zhaohui, Yang Guolu, Liu Linshuang, *et al.* Advances in the pretreatment methods for sludge mechanical dewatering [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(5): 157-161 (in Chinese).
- [2] Flemming H C, Wingender J. Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs)—Part I: Structural and ecological aspects[J]. Water Sci Technol, 2001, 43(6): 1-8.
- [3] Li H, Wen Y, Cao A, *et al.* The influence of additives (Ca^{2+} , Al^{3+} , and Fe^{3+}) on the interaction energy and loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) of activated sludge and their flocculation mechanisms [J]. Bioresour Technol, 2012, 114: 188-194.
- [4] Li X Y, Yang S F. Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge[J]. Water Res, 2007, 41(5): 1022-1030.
- [5] 石超宏,朱能武,吴平霄,等. 生物沥浸去除污泥重金属及改善脱水性能研究[J]. 中国环境科学, 2013, 33(3): 474-479.
Shi Chaohong, Zhu Nengwu, Wu Pingxiao, *et al.* Heavy metals removal from sewage sludge and dewaterability improvement by bioleaching [J]. China Environmental Science, 2013, 33(3): 474-479 (in Chinese).
- [6] Li X L, Peng Y Z, Ren N Q, *et al.* Effect of temperature on short chain fatty acids (SCFAs) accumulation and microbiological transformation in sludge alkaline fermentation with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adjustment[J]. Water Res, 2014, 61: 34-45.
- [7] Lors C, Che hade M H, Damidot D. pH variations during growth of *Acidithiobacillus thiooxidans* in buffered media designed for an assay to evaluate concrete biodeterioration [J]. Int Biodet Biodegrad, 2009, 63(7): 880-883.
- [8] Wong J W C, Zhou J, Kurade M B, *et al.* Influence of ferrous ions on extracellular polymeric substances content and sludge dewaterability during bioleaching [J]. Bioresour Technol, 2015, 179: 78-83.
- [9] Houghton J I, Quarmby J, Stephenson T. Municipal wastewater sludge dewaterability and the presence of microbial extracellular polymer[J]. Water Sci Technol, 2001, 44(2/3): 373-379.



作者简介:卓星星(1992-),女,安徽宿州人,硕士,主要从事污泥处理及资源化利用研究。

E-mail: 619264474@qq.com

收稿日期: 2019-12-05